15433 E

TRAITÉ
ÉLÉMENTAIRE
OU
PRINCIPES DE PHYSIQUE.

TOME PREMIER.

TRAITÉ
ÉLÉMENTAIRE
DE
PRINCIPES DE PHYSIQUE.

TOME TROISIÈME.

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE OU PRINCIPES DE PHYSIQUE,

Fondés sur les connoissances les plus certaines, tant anciennes que modernes, & confirmés par l'expérience.

Par M. BRISSON, de l'Académie Royale des Sciences, Maître de Physique & d'Histoire Naturelle des Enfans de France, & Professeur Royal de Physique expérimentale au Collége Royal de Navarre.

TOME PREMIER.

A PARIS,
De l'Imprimerie de MOUTARD, Imprimeur-Libraire, Hôtel de Cluni, rue des Mathurins.

1789.

WELLCOME
HISTORICAL
MEDICAL
LIBRARY

DISCOURS PRÉLIMINAIRE.

DEPUIS environ une vingtaine d'années, on a fait, sur la composition des corps & sur la nature de leurs parties intégrantes, un grand nombre d'expériences, & telles enfin qu'on devoit les faire pour obtenir des résultats satisfaisans. La maniere dont on les faisoit ci-devant, n'étoit rien moins qu'exacte. En analysant un corps, on trouvoit quelquefois des substances qu'on croyoit entrer dans la composition de ce corps : on étoit souvent dans l'erreur ; ces substances s'étoient formées pendant l'opération : on en auroit eu la preuve, si l'on s'étoit assuré du poids, qu'on auroit trouvé plus grand que n'étoit celui du corps mis à l'épreuve. Aujourd'hui on tient une note exacte de ce poids, & l'on prend toutes les précautions nécessaires pour

recueillir tout ce qui s'échappe pendant l'analyſe ; & ſi l'on trouve une augmentation de poids, on eſt ſûr qu'il y a eu un nouvel être de formé : il ne s'agit plus que de découvrir quelle eſt la ſubſtance qui a fourni les parties qui ſont entrées dans la compoſition de ce nouvel être ; & l'on y parvient en obſervant quelles ſont celles avec leſquelles le corps analyſé a été en contact pendant l'opération.

Ces expériences ont appris qu'il y a un grand nombre de corps qui peuvent prendre l'état de fluide élaſtique : c'eſt ſous ce point de vue que l'on a conſidéré ces corps. Les nouveaux procédés qu'on a employés pour reconnoître leur compoſition & leurs propriétés, & le grand nombre de Savans qui, dans toute l'Europe, ſe ſont occupés de ce genre de recherche, ont enrichi les différentes branches de la Phyſique d'un nombre conſidérable de découvertes. Des phénomenes, qui juſque-là avoient paru iſolés, & n'avoir aucune relation entre eux, ont été liés par des faits nouveaux ;

& la Science préſente aujourd'hui une ſuite de faits & plus nombreuſe & mieux ordonnée.

Mais depuis cette époque, que l'on peut regarder comme celle d'un véritable renouvellement dans les Sciences d'obſervation, les découvertes ont été publiées chacune en particulier à meſure qu'elles ſe ſont offertes : elles ſe trouvent éparſes dans les Mémoires des différentes Sociétés ſavantes, & dans quelques Traités particuliers ; & perſonne n'avoit encore entrepris de les réunir en corps de doctrine. Il nous manquoit donc un Traité de Phyſique, dans lequel les faits fuſſent, d'après leur dépendance mutuelle, réduits à un petit nombre de phénomenes généraux, qu'on pût regarder comme *Principes*, & où ceux-ci fuſſent eux-mêmes préſentés dans un ordre ſyſtématique, & liés entre eux par une chaîne facile à ſaiſir. C'eſt ce que j'ai tâché de faire dans l'Ouvrage que j'ai l'honneur de préſenter au Public.

Tout ce que j'ai avancé & regardé

comme *Principe*, eſt fondé ſur les expériences les plus concluantes. Je n'ai adopté aucuns ſyſtêmes; je les crois ſouvent propres à arrêter les progrès de la Phyſique: ils ſont en général très-nuiſibles aux Sciences. Pour les former, on fait des hypotheſes & des ſuppoſitions gratuites & ſouvent inconcevables: après les avoir répétées dix ou douze fois, on croit les avoir prouvées; & on part de là pour dire: *Nous avons démontré.*

Les faits nombreux & nouvellement connus, que préſentent les fluides élaſtiques, ainſi que les ſubſtances dont on les extrait, ou du moins celles dont on fait uſage pour ſe les procurer, nous ayant donné lieu d'obſerver un grand nombre d'êtres nouveaux & juſqu'alors inconnus, il a été néceſſaire de leur donner des noms, pour pouvoir les déſigner; & ces noms ſont tels, qu'ils indiquent quelles ſont les parties conſtituantes de ces ſubſtances. Pour mettre de l'uniformité dans le diſcours & dans les idées, on a de même

donné des noms analogues & auſſi ſignificatifs aux ſubſtances anciennement connues. De là, il eſt réſulté une Langue nouvelle, dont j'ai fait uſage, & qui eſt beaucoup plus ſignificative que l'ancienne; car, par exemple, ces noms, *ſel de ſeignette*, *ſel de duobus*, n'apprendront à qui que ce ſoit de quoi ces ſels ſont compoſés; au lieu que *tartrite de ſoude*, qui eſt le nom nouveau du premier, & *ſulfate de potaſſe*, qui eſt celui du ſecond, m'apprennent que l'un eſt formé par la combinaiſon de l'acide tartareux avec la ſoude, & l'autre par la combinaiſon de l'acide ſulfurique avec la potaſſe; & ainſi des autres. Qu'on n'imagine pas que cette nouvelle Langue exige une longue étude; je ſuis perſuadé que quiconque voudra s'en donner la peine, la ſaura en trois quarts d'heure. Il y a environ cinquante mots dont il faut ſe reſſouvenir; encore y en a-t-il pluſieurs qui ont des terminaiſons ſemblables, quand ils ont des ſignifications analogues.

Mais afin qu'on ſoit diſpenſé de chercher

& d'avoir recours à un autre Ouvrage, j'ai placé ci-après deux Synonymies des noms anciens & nouveaux, rangés par ordre alphabétique, & dans lesquelles on trouvera tous les noms employés dans cet Ouvrage. Dans la premiere, on trouvera d'abord les noms anciens, à côté desquels sont les noms nouveaux ou adoptés qui leur correspondent : dans la seconde, qui est l'opposé de la premiere, chaque nom nouveau y est accompagné de tous ses synonymes anciens ; & l'on verra qu'il y a telle substance à laquelle les Anciens ont donné jusqu'à douze ou quatorze noms différens. Quelle confusion cela n'est-il pas capable de mettre dans l'esprit des Etudians ?

Cet Ouvrage, qui est destiné à la Jeunesse de l'un & l'autre sexe, comprend toutes les questions relatives à la Physique ; & afin de pouvoir être entendu des uns & des autres, je me suis attaché à y mettre le plus de clarté qu'il m'a été possible. Pour cela j'ai cherché à être bref & con-

cis ; car, depuis le grand nombre d'années que j'enſeigne le Public, j'ai toujours remarqué que plus mes explications étoient courtes & ſerrées, mieux j'étois entendu. C'eſt pourquoi cet Ouvrage, malgré la grande quantité de matériaux qu'il contient, ne forme que trois volumes *in*-8°. ; & cependant je crois n'avoir rien oublié.

Cet Ouvrage eſt diviſé en dix-neuf Chapitres. Le premier traite des Propriétés générales des corps, qui ſont au nombre de douze ; le ſecond, du Mouvement & de ſes loix ; le troiſieme, des Cauſes qui changent la direction du mouvement ; le quatrieme, des Loix du mouvement compoſé ; le cinquieme, des Forces centrales ; le ſixieme, de la Gravité ou Gravitation des corps. ; le ſeptieme, de la Peſanteur des corps ; le huitieme, de l'Hydrodynamique, qui comprend l'Hydroſtatique & l'Hydraulique ; le neuvieme traite de la Mécanique ſtatique ; le dixieme, des Fluides élaſtiques ; l'onzieme, des Propriétés de l'Air ; le douzieme, des Pro-

priétés de l'Eau ; le treizieme, de la Nature & des Propriétés du Feu ; le quatorzieme, de la Nature & des Propriétés de la Lumiere ; là ſont compriſes l'Optique, la Catoptrique, la Dioptrique, & les Couleurs ; le quinzieme, de la Viſion des objets, ſoit naturelle, ſoit artificielle : dans cette derniere, on trouve la deſcription & l'uſage de tous les inſtrumens d'Optique ; le ſeizieme traite de l'Aſtronomie phyſique ; le dix-ſeptieme, du Flux & Reflux, de ſes phénomenes & de ſes cauſes ; le dix-huitieme, du Magnétiſme ; le dix-neuvieme enfin traite de l'Electricité : j'y ai joint l'Analogie entre les effets du Tonnerre & ceux de l'Electricité, ainſi que les cauſes des Aurores boréales & des Trombes.

L'Ouvrage eſt terminé par une Table des Matieres, rangées par ordre alphabétique, qui en fait l'équivalent d'un Dictionnaire, au moyen duquel on pourra trouver, ſur le champ, la queſtion dont on aura beſoin, & tout ce qui y a rapport.

Avis au Relieur.

Les planches doivent être placées de maniere qu'en s'ouvrant, elles puiſſent ſortir entiérement du Livre, & ſe voir à droite dans l'ordre qui ſuit.

Tome premier.

Planche	1.	*après la page* 110.
	2.	154.
	3.	194
	4.	230.
	5.	270.
	6.	324.
	7.	346.
	8.	362.
	9.	370.
	10.	382.
	11.	396.
	12.	418.

EXTRAIT des Regiſtres de l'Académie Royale des Sciences, du 20 Décembre 1788.

MM. COUSIN & MONGE, Commiſſaires nommés par l'Académie pour examiner un Ouvrage de M. BRISSON, ayant pour titre : *Principes de Phyſique fondés ſur l'expérience*, en ayant rendu compte, l'Académie a jugé cet Ouvrage très-utile, digne d'être imprimé ſous ſon privilege.

Je certifie le préſent Extrait conforme au Jugement de l'Académie. A Paris, le 22 Décembre 1788.

LE MARQUIS DE CONDORCET.

ERRATA.

Page	65,	ligne 25,	de temps *liſez* des temps
	162,	20,	ces *liſez* de ces
	163,	1,	*multipliées* liſez *multipliés*
	Ibid.	9,	de le *liſez* de ſe
	Ibid.	10,	de ſa *liſez* de la
	198,	3,	elles *liſez* elle
	223,	27,	& compoſée *liſez* eſt compoſée
	323,	17,	ce procédé bien *liſez* ce procédé comme bien
	352,	25,	eſt en C *liſez* eſt en *c*

SYNONYMIE

ANCIENNE ET NOUVELLE,

PAR ORDRE ALPHABÉTIQUE.

A

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Acete ammoniacal.	Acétite ammoniacal. / Acétite d'ammoniaque.
Acete calcaire.	Acétite de chaux.
Acete d'argile.	Acétite alumineux.
Acete de cuivre.	Acétite de cuivre.
Acete de magnéſie.	Acétite de magnéſie.
Acete de plomb.	Acétite de plomb.
Acete de potaſſe.	Acétite de potaſſe.
Acete de ſoude.	Acétite de ſoude.
Acete de zinc.	Acétite de zinc.
Acete martial.	Acétite de fer.
Acete mercuriel.	Acétite mercuriel.
Acide acéteux.	Acide acéteux.
Acide aérien.	Acide carbonique.
Acide arſenical.	Acide arſénique.
Acide athmoſphérique.	Acide carbonique.
Acide benzonique.	Acide benzoïque.
Acide bézoardique.	Acide lithique.
Acide boracin.	Acide boracique.
Acide charbonneux.	Acide carbonique.
Acide citronien.	Acide citrique.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Acide crayeux.	Acide carbonique.
Acide de l'oseille.	Acide oxalique.
Acide de l'urine.	Acide phosphorique.
Acide des fourmis.	Acide formique.
Acide des pommes.	Acide malique.
Acide du benjoin.	Acide benzoïque.
Acide du borax.	Acide boracique.
Acide du calcul.	Acide lithique.
Acide du camphre.	Acide camphorique.
Acide du sel marin.	Acide muriatique.
Acide du soufre.	Acide sulfurique.
Acide du succin.	Acide succinique.
Acide du sucre.	Acide oxalique.
Acide du sucre de lait.	Acide saccho-lactique.
Acide du suif.	Acide sébacique.
Acide du tartre.	Acide tartareux.
Acide du ver à soie.	Acide bombique.
Acide fluorique.	Acide fluorique.
Acide formicin.	Acide formique.
Acide galactique.	Acide lactique.
Acide gallique.	Acide gallique.
Acide lithiasique.	Acide lithique.
Acide malusien.	Acide malique.
Acide marin.	Acide muriatique.
Acide marin aéré.	Acide muriatique oxigéné.
Acide marin déphlogistiqué.	
Acide méphitique.	Acide carbonique.
Acide nitreux blanc.	Acide nitrique.
Acide nitreux dégasé.	
Acide nitreux déphlogistiqué.	

Acide

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Acide nitreux fumant.	Acide nitreux.
Acide nitreux phlogiſtiqué.	
Acide nitreux rutilant.	
Acide oxalin.	Acide oxalique.
Acide phoſphorique.	Acide phoſphorique.
Acide phoſphorique déphlogiſtiqué.	
Acide phoſphorique phlogiſtiqué.	Acide phoſphoreux.
Acide phoſphorique volatil.	
Acide régalin.	Acide nitro-muriatique.
Acide ſaccarin.	Acide oxalique.
Acide ſacchlactique.	Acide ſaccho-lactique.
Acide ſébacé.	Acide ſébacique.
Acide ſédatif.	Acide boracique.
Acide ſpathique.	Acide fluorique.
Acide ſulfureux.	Acide ſulfureux.
Acide ſulfureux volatil.	
Acide ſyrupeux.	Acide pyro-mucique.
Acide tartareux.	Acide tartareux.
Acide vitriolique.	Acide ſulfurique.
Acide vitriolique phlogiſtiqué.	Acide ſulfureux.
Acier.	Acier.
Air acide vitriolique.	Gas acide ſulfureux.
Air alkalin.	Gas ammoniacal.
Air athmoſphérique.	Air athmoſphérique.
Air déphlogiſtiqué.	Gas oxigène.
Air du feu de Scheele.	

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Air factice.	Gas acide carbonique.
Air fixe.	
Air fixé.	Acide carbonique.
Air gâté.	Gas azotique.
Air inflammable.	Gas hydrogène.
Air inflammable des marais.	Gas hydrogène des marais.
Air marin.	Gas acide muriatique.
Air phlogiſtiqué.	Gas azotique.
Air puant du ſoufre.	Gas hydrogène ſulfuré.
Air pur.	Gas oxigène.
Air ſolide de Hales.	Gas acide carbonique.
Air vicié.	Gas azotique.
Air vital.	Gas oxigène.
Alkaeſt de Vanhelmont.	Carbonate de potaſſe.
Alkalis cauſtiques.	Alkalis.
Alkalis en général.	
Alkalis effervescens.	Carbonates alkalins.
Alkali fixe du tartre cauſtique.	Potaſſe.
Alkali fixe du tartre non cauſtique.	Carbonate de potaſſe.
Alkali fixe minéral aéré.	Carbonate de ſoude.
Alkali fixe minéral effervescent.	
Alkali fixe végétal.	Carbonate de potaſſe.
Alkali fixe végétal aéré.	
Alkali fixe végétal cauſtique.	Potaſſe.
Alkali marin.	Soude.
Alkali marin cauſtique.	

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Alkali marin non caustique.	Carbonate de soude.
Alkali minéral.	Soude.
Alkali minéral aéré.	Carbonate de soude.
Alkali minéral caustique.	Soude.
Alkali minéral effervescent.	Carbonate de soude.
Alkali végétal.	Potasse.
Alkali végétal aéré.	Carbonate de potasse.
Alkali végétal caustique.	Potasse.
Alkali végétal effervescent.	Carbonate de potasse.
Alkali volatil.	Ammoniaque.
Alkali volatil caustique.	
Alkali volatil concret.	Carbonate ammoniacal.
Alkali volatil effervescent.	
Alkali volatil fluor.	Ammoniaque.
Alkali urineux.	
Alliage des métaux.	Alliage.
Alun.	Sulfate d'alumine.
Alun marin.	Muriate d'alumine.
Alun nitreux.	Nitrite d'alumine.
Amalgame.	Amalgame.
Ambre jaune.	Succin.
Antimoine crud.	Sulfure d'antimoine.
Antimoine (mine d').	Sulfure d'antimoine natif.
Aquila alba.	Muriate de mercure doux sublimé.
Arcanum duplicatum.	Sulfate de potasse.
Argent.	Argent.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Argent corné.	Muriate d'argent.
Argile.	Argile, mêlange d'alumine & de silice.
Argile crayeuse.	Carbonate d'alumine.
Argile pure.	Alumine.
Arsenic blanc.	Oxide d'arsenic.
Arsenic (régule d').	Arsenic.
Arsenic rouge.	Oxide d'arsenic sulfuré rouge.
Azur.	Oxide de cobalt vitreux.

B.

BAROTE.	Baryte.
Base de l'air pur.	Oxigène.
Base de l'air vital.	
Base de l'alun.	Alumine.
Base du sel marin.	Soude.
Beurre d'antimoine.	Muriate d'antimoine fumant.
Blanc de fard.	Oxide de bismuth blanc par l'acide nitrique.
Blanc de plomb.	Oxide de plomb blanc par l'acide acéteux.
Bleu de Berlin.	Prussiate de fer.
Bleu de Prusse.	
Borax.	Borate.

C.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
CAUSTICUM.	Principe hypothétique de Meyer.
Céruſe.	Oxide de plomb blanc par l'acide acéteux.
Chaleur fixée.	Calorique.
Chaleur latente.	
Charbon pur.	Carbone.
Chaux métalliques.	Oxides métalliques.
Chaux d'arſenic.	Oxide d'arſenic.
Chaux de plomb.	Oxide de plomb.
Chaux vive.	Chaux.
Cinnabre.	Oxide de mercure ſulfuré rouge.
Cobalt.	Cobalt.
Cobolt.	
Colcothar.	Oxide de fer rouge.
Combinaiſons des huiles graſſes ou fixes avec différentes baſes.	Savons.
Combinaiſons des huiles graſſes ou fixes avec différens acides.	Savons acides.
Combinaiſons des huiles graſſes ou fixes avec les ſubſtances métalliques.	Savons métalliques.
Combinaiſons des huiles volatiles ou eſſentielles avec différentes baſes.	Savonules.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Combinaisons des huiles volatiles ou essentielles avec différens acides.	Savonules acides.
Combinaisons des huiles volatiles ou essentielles avec les substances métalliques.	Savonules métalliques.
Combinaisons du phosphore non oxigéné avec différentes bases.	Phosphures.
Combinaisons du soufre avec les métaux.	Sulfures métalliques.
Couperose blanche.	Sulfate de zinc.
Couperose bleue.	Sulfate de cuivre.
Couperose verte.	Sulfate de fer.
Craie.	Carbonate calcaire.
Craie ammoniacale.	Carbonate ammoniacal.
Craie de plomb.	Carbonate de plomb.
Craie de soude.	Carbonate de soude.
Craie de zinc.	Carbonate de zinc.
Craie martiale.	Carbonate de fer.
Crême de chaux.	Carbonate calcaire.
Crême de tartre.	Tartrite acidule de potasse.
Cristaux de lune.	Nitrate d'argent.
Cristaux de soude.	Carbonate de soude.
Cristaux de tartre.	Tartrite acidule de potasse.
Cristaux de Vénus.	Acétite de cuivre cristallisé.
Cuivre.	Cuivre.

D.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
DIANE.	Argent.

E.

EAU aérée.	Acide carbonique.
Eau de chaux.	Chaux dissoute dans l'eau. Eau de chaux.
Eau-forte.	Acide nitreux du commerce.
Eau mere du nitre.	Nitrate de chaux.
Eau mere du sel marin.	Muriate de chaux.
Eau régale.	Acide nitro-muriatique.
Eaux acidulées. Eaux gaseuses.	Eaux imprégnées d'acide carbonique.
Eaux hépatiques.	Eaux sulfurées. Eaux sulfureuses.
Emétique.	Tartrite de potasse antimonié.
Empyrée.	Oxigène.
Encre de sympathie par la litharge.	Acétite de plomb.
Encre de sympathie par le cobalt.	Muriate de cobalt.
Encre de sympathie par l'orpiment & la chaux.	Oxide d'arsenic sulfuré jaune & chaux, dissous dans l'eau.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Esprit acide empyreumatique du bois.	Acide pyro-lignique.
Esprit alkalin volatil.	Gas ammoniacal.
Esprit ardent.	Alcohol.
Esprit de Mendererus.	Acétite ammoniacal.
Esprit de miel, de sucre, &c.	Acide pyro-mucique.
Esprit de nitre.	Acide nitrique étendu d'eau.
Esprit de nitre dulcifié.	Alcohol nitrique.
Esprit de nitre fumant.	Acide nitreux.
Esprit de sel.	Acide muriatique.
Esprit de sel ammoniac.	Ammoniaque.
Esprit de sel fumant.	Acide muriatique.
Esprit de soufre.	Acide sulfureux.
Esprit de tartre.	Acide pyro-tartareux.
Esprit de Vénus.	Acide acétique.
Esprit de vin.	Alcohol.
Esprit de vitriol.	Acide sulfurique étendu d'eau.
Esprit recteur.	Arome.
Esprit volatil de sel ammoniac.	Ammoniaque étendu d'eau.
Esprits acides.	Acides étendus d'eau.
Essences.	Huiles volatiles.
Etain.	Etain.
Ether acéteux.	Ether acétique.
Ether marin.	Ether muriatique.
Ether nitreux.	Ether nitrique.
Ether vitriolique.	Ether sulfurique.
Ethiops martial.	Oxide de fer noir.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Ethiops minéral.	Oxide de mercure sulfuré noir.
Ethiops per se.	Oxide de mercure noirâtre.
Extrait.	Extractif (l').

F.

Fécules des plantes.	Fécules.
Fer.	Fer.
Fer aéré.	Carbonate de fer.
Fleurs d'arsenic.	Oxide d'arsenic blanc sublimé.
Fleurs de benjoin.	Acide benzoïque sublimé.
Fleurs de bismuth.	Oxide de bismuth sublimé.
Fleurs d'étain.	Oxide d'étain sublimé.
Fleurs de soufre.	Soufre sublimé.
Fleurs métalliques.	Oxides métalliques sublimés.
Fluides aériformes.	Gas.
Fluides élastiques.	
Fluor spathique.	Fluate de chaux.
Foies de soufre.	Sulfures.
Foies de soufre alkalins.	Sulfures alkalins.
Foies de soufre calcaires.	Sulfures calcaires.

G.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
GAS.	Gas.
Gas acide acéteux.	Gas acide acéteux.
Gas acide crayeux.	Gas acide carbonique.
Gas acide fluorique.	Gas acide fluorique.
Gas acide marin.	Gas acide muriatique.
Gas acide marin déphlogiſtiqué.	Gas muriatique oxigéné.
Gas acide muriatique.	Gas acide muriatique.
Gas acide muriatique aéré.	Gas muriatique oxigéné.
Gas acide nitreux.	Gas acide nitreux.
Gas acide ſpathique.	Gas acide fluorique.
Gas acide ſulfureux.	Gas acide ſulfureux.
Gas acide vitriolique.	
Gas alkali volatil.	Gas ammoniacal.
Gas alkalin.	
Gas athmoſphérique.	Gas azotique.
Gas hépatique.	Gas hydrogène ſulfuré.
Gas inflammable.	Gas hydrogène.
Gas inflammable carboné.	Gas hydrogène carboné.
Gas inflammable carbonique.	Gas hydrogène carbonique.
Gas inflammable charbonneux.	Gas hydrogène carboné.
Gas inflammable des marais.	Gas hydrogène des marais.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Gas inflammable mofétiſé.	Gas hydrogène des marais.
Gas inflammable phoſphoré.	Gas hydrogène phoſphoré.
Gas inflammable ſulfuré.	Gas hydrogène ſulfuré.
Gas méphitique.	Gas acide carbonique.
Gas nitreux.	Gas nitreux.
Gas phlogiſtiqué.	Gas azotique.
Gas phoſphorique.	Gas hydrogène phoſphoré.
Gas ſylveſtre.	Gas acide carbonique.
Glaiſe.	Argile, mêlange d'alumine & de ſilice.
Gypſe.	Sulfate de chaux.

H.

HÉPARS.	Sulfures.
Hépars alkalins.	Sulfures alkalins.
Huiles animales.	Huiles volatiles animales.
Huile de chaux.	Muriate calcaire.
Huile de tartre par défaillance.	Potaſſe mêlangée de carbonate de potaſſe en déliqueſcence.
Huile de vitriol.	Acide ſulfurique.
Huiles douces.	Huiles fixes.
Huiles eſſentielles.	Huiles volatiles.
Huiles éthérées.	

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Huiles graſſes. Huiles par expreſſion.	Huiles fixes.

I.

JUAN blanca.	Platine (le).
Jupiter.	Etain.

K.

KARABÉ.	Succin.
Kermès minéral.	Oxide d'antimoine ſulfuré rouge.

L.

LAIT de chaux.	Chaux délayée dans l'eau.
Litharge.	Litharge. Oxide de plomb demi-vitreux.
Lune.	Argent.
Lune cornée.	Muriate d'argent.

M.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
MAGISTERE de bismuth.	Oxide de bismuth blanc par l'acide nitrique.
Mars.	Fer.
Massicot.	Oxide de plomb jaune.
Matiere de la chaleur.	Calorique.
Matiere du feu.	
Matiere colorante du bleu de Prusse.	Acide Prussique.
Méphite ammoniacal.	Carbonate ammoniacal.
Méphite calcaire.	Carbonate calcaire.
Méphite de plomb.	Carbonate de plomb.
Méphite de potasse.	Carbonate de potasse.
Méphite de soude.	Carbonate de soude.
Méphite de zinc.	Carbonate de zinc.
Méphite martial.	Carbonate de fer.
Mercure.	Mercure.
Mercure des métaux.	Principe hypothétique de Beccher.
Minium.	Minium.
	Oxide de plomb rouge.
Mine d'antimoine.	Sulfure d'antimoine natif.
Mofete athmosphérique.	Gas azotique.
Mucilage.	Muqueux (le).

N.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
NATRON.	Carbonate de soude.
Natrum.	
Nitre.	Nitrate de potasse. Nitre.
Nitre calcaire.	Nitrate de chaux.
Nitre cubique.	Nitrate de soude.
Nitre d'argent.	Nitrate d'argent.
Nitre fixé par lui-même.	Carbonate de potasse.
Nitre lunaire.	Nitrate d'argent.
Nitre quadrangulaire.	Nitrate de soude.
Nitre rhomboïdal.	

O.

OCRE.	Oxide de fer jaune.
Or.	Or.
Or fulminant.	Oxide d'or ammoniacal.
Orpiment.	Oxide d'arsenic sulfuré jaune.
Oxigine.	Oxigène.

P.

PETIT lait aigri.	Acide lactique.
Phlogistique.	Principe hypothétique de Stahl.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Phlogistique de M. Kirvan.	Gas hydrogène.
Phosphore de Homberg.	Muriate calcaire sec.
Phosphore de Kunkel.	Phosphore.
Pierre à cautere.	Potasse fondue.
Pierre calcaire.	Carbonate calcaire.
Pierre infernale.	Nitrate d'argent fondu.
Platina del Pinto.	Platine (le).
Platine (la).	
Plâtre.	Sulfate calcaire.
Plomb.	Plomb.
Plomb corné.	Muriate de plomb.
Plomb spathique.	Carbonate de plomb.
Plombagine.	Carbure de fer.
Potasse du commerce.	Carbonate de potasse impur.
Potée d'étain.	Oxide d'étain gris.
Pourpre de Cassius.	Oxide d'or par l'étain.
Précipité de Cassius.	
Précipité d'or par l'étain.	
Précipité jaune.	Oxide de mercure jaune par l'acide sulfurique.
Précipité per se.	Oxide de mercure rouge par le feu.
Précipité rose de mercure.	Phosphate de mercure.
Précipité rouge.	Oxide de mercure rouge par l'acide nitrique.
Principe acidifiant.	Oxigène.
Principe astringent.	Acide gallique.
Principe charbonneux.	Carbone.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Principe de la chaleur. Principe du feu. Principe inflammable.	Calorique.
Principe mercuriel.	Principe hypothétique de Beccher.
Principe odorant.	Arome.
Principe ſorbile de M. Ludbock.	Oxigène.
Pyrite de cuivre.	Sulfure de cuivre.
Pyrite martiale.	Sulfure de fer.
Pyrophore de Homberg.	Pyrophore de Homberg. Sulfure d'alumine carboné.

R.

RÉALGAL. Réalgar.	Oxide d'arſenic ſulfuré rouge.
Régule d'antimoine.	Antimoine.
Régule d'arſenic.	Arſenic.
Régule de biſmuth.	Biſmuth.
Régule de cobalt.	Cobalt.
Régule de manganèſe.	Manganèſe (le).
Régule de molybdène.	Molybdène (le).
Régule de nickel.	Nickel.
Régule de zinc.	Zinc.
Rouille de cuivre.	Oxide de cuivre vert.
Rouille de fer.	Carbonate de fer.

S.

S.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
SAFRAN de Mars.	Oxide de fer.
Safran de Mars apéritif.	Carbonate de fer.
Safran de Mars astringent.	Oxide de fer brun.
Safre.	Oxide de cobalt gris avec silice.
	Safre.
Salmiac.	Muriate d'ammoniaque.
Salpêtre.	Nitrate de potasse.
	Nitre.
Saturne.	Plomb.
Sel acéteux ammoniacal.	Acétite ammoniacal.
Sel acéteux calcaire.	Acétite de chaux.
Sel acéteux d'argile.	Acétite alumineux.
Sel acéteux de zinc.	Acétite de zinc.
Sel acéteux magnésien.	Acétite de magnésie.
Sel acéteux martial.	Acétite de fer.
Sel acéteux minéral.	Acétite de soude.
Sel ammoniac.	Muriate d'ammoniaque.
Sel ammoniac fixe.	Muriate de chaux.
Sel ammoniacal crayeux.	Carbonate ammoniacal.
Sel cathartique amer.	Sulfate de magnésie.
Sel commun.	Muriate de soude.
Sel d'Angleterre.	Carbonate ammoniacal.
Sel de benjoin.	Acide benzoïque.
Sel de canal.	Sulfate de magnésie.
Sel de duobus.	Sulfate de potasse.
Sel d'ep m.	Sulfate de magnésie.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Sel de glauber.	Sulfate de soude.
Sel d'oseille du commerce.	Oxalate acidule de potasse.
Sel de Saturne.	Acétite de plomb.
Sel de sedlitz.	Sulfate de magnésie.
Sel de seignette.	Tartrite de soude.
Sel de seydschutz.	Sulfate de magnésie.
Sel fixe de tartre.	Carbonate de potasse.
Sel fusible de l'urine.	Phosphate de soude & d'ammoniaque.
Sel gemme.	Muriate de soude fossile.
Sel marin.	Muriate de soude.
Sel marin argileux.	Muriate d'alumine.
Sel marin calcaire.	Muriate de chaux.
Sel natif de l'urine.	Phosphate de soude & d'ammoniaque.
Sel polychreste de Glaser.	Sulfate de potasse.
Sel polychreste de la Rochelle.	Tartrite de soude.
Sel sédatif.	Acide boracique.
Sel végétal.	Tartrite de potasse.
Sel volatil d'Angleterre.	Carbonate ammoniacal.
Sel volatil de benjoin.	Acide benzoïque sublimé.
Sel volatil de succin.	Acide succinique.
Sel volatil narcotique de vitriol.	Acide boracique.
Sels arsenicaux.	Arseniates.
Sels formés avec l'eau régale.	Nitro-muriates.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Sels formés par la combinaison de l'acide acéteux avec différentes bases.	Acétites.
Sels formés par la combinaison de l'acide acétique avec différentes bases.	Acétates.
Sels formés par la combinaison de l'acide benzoïque avec différentes bases.	Benzoates.
Sels formés par la combinaison de l'acide bombique avec différentes bases.	Bombiates.
Sels formés par la combinaison de l'acide boracique avec différentes bases.	Borates.
Sels formés par la combinaison de l'acide camphorique avec différentes bases.	Camphorates.
Sels formés par la combinaison de l'acide carbonique avec différentes bases.	Carbonates.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Sels formés par la combinaison de l'acide citrique avec différentes bases.	Citrates.
Sels formés par la combinaison de l'acide fluorique avec différentes bases.	Fluates.
Sels formés par la combinaison de l'acide formique avec différentes bases.	Formiates.
Sels formés par la combinaison de l'acide lactique, ou de l'acide du petit lait aigri, avec différentes bases.	Lactates.
Sels formés par la combinaison de l'acide lithique, ou de l'acide de la pierre de la vessie, avec différentes bases.	Lithiates.
Sels formés par la combinaison de l'acide malique, ou de l'acide des pommes, avec différentes bases.	Malates.
Sels formés par la combinaison de l'acide molybdique avec différentes bases.	Molibdates.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Sels formés par la combinaison de l'acide muriatique avec différentes baſes.	Muriates.
Sels formés par la combinaison de l'acide muriatique oxigéné avec la potaſſe & la ſoude, découverts par M. Bertholet.	Muriates oxigénés.
Sels formés par la combinaison de l'acide nitreux avec différentes baſes.	Nitrites.
Sels formés par la combinaison de l'acide nitrique avec différentes baſes.	Nitrates.
Sels formés par la combinaison de l'acide oxalique avec différentes baſes.	Oxalates.
Sels formés par la combinaison de l'acide phoſphoreux avec différentes baſes.	Phoſphites.
Sels formés par la combinaison de l'acide phoſphorique avec différentes baſes.	Phoſphates.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Sels formés par la combinaison de l'acide prussique, ou matière colorante du bleu de Prusse, avec différentes bases.	Prussiates.
Sels formés par la combinaison de l'acide pyro-lignique avec différentes bases.	Pyro-lignites.
Sels formés par la combinaison de l'acide pyro-mucique avec différentes bases.	Pyro-mucites.
Sels formés par la combinaison de l'acide pyro-tartareux avec différentes bases.	Pyro-tartrites.
Sels formés par la combinaison de l'acide saccho-lactique avec différentes bases.	Saccho-lates.
Sels formés par la combinaison de l'acide sébacique, ou de l'acide de la graisse, avec différentes bases.	Sébates.
Sels formés par la combinaison de l'acide succinique avec différentes bases.	Succinates.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Sels formés par la combinaiſon de l'acide ſulfureux avec différentes baſes.	Sulfites.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide ſulfurique avec différentes baſes.	Sulfates.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide tartareux avec différentes baſes.	Tartrites.
Sélénite.	Sulfate de chaux.
Smalt.	Oxide de cobalt vitreux.
Soleil.	Or.
Soude aérée.	Carbonate de ſoude.
Soude cauſtique.	Soude.
Soude crayeuſe.	Carbonate de ſoude.
Soude efferveſcente.	
Soufre.	Soufre.
Spath calcaire.	Carbonate calcaire.
Spath cubique.	Fluate de chaux.
Spath fluor.	
Spath peſant.	Sulfate de Baryte.
Spath phoſphorique.	Fluate de chaux.
Spath vitreux.	
Spiritus Sylveſtris.	Gas acide carbonique.
Sublimé corroſif.	Muriate de mercure corroſif.
Sublimé doux.	Muriate de mercure doux.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Suc de citron.	Acide citrique.
Succin.	Succin.
Sucre de Saturne.	Acétite de plomb.

T.

TARTRE.	Tartrite acidule de potasse.
Tartre antimonié.	Tartrite de potasse antimonié.
Tartre crayeux.	Carbonate de potasse.
Tartre crud.	Tartre.
Tartre de potasse.	Tartrite de potasse.
Tartre de soude.	Tartrite de soude.
Tartre émétique.	Tartrite de potasse antimonié.
Tartre méphitique.	Carbonate de potasse.
Tartre soluble.	Tartrite de potasse.
Tartre stibié.	Tartrite de potasse antimonié.
Tartre tartarisé.	Tartrite de potasse.
Tartre vitriolé.	Sulfate de potasse.
Terre argileuse.	Argile, mélange d'alumine & de silice.
Terre calcaire.	Chaux.
Terre calcaire aérée.	Carbonate calcaire.
Terre calcaire effervescente.	Carbonate calcaire.
Terre de l'alun.	Alumine.
Terre du spath pesant.	Baryte.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Terre foliée cristallisée.	Acétite de soude.
Terre foliée du tartre.	Acétite de potasse.
Terre foliée mercurielle.	Acétite de mercure.
Terre foliée minérale.	Acétite de soude.
Terre glaiseuse.	Argile, mélange d'alumine & de silice.
Terre pesante.	Baryte.
Terre pesante aérée.	Carbonate de baryte.
Terre siliceuse.	Silice. Terre silicée.
Turbith minéral.	Oxide de mercure jaune par l'acide sulfurique.
Turbith nitreux.	Oxide de mercure jaune par l'acide nitrique.

V.

VÉNUS.	Cuivre.
Verdet.	Acétite de cuivre.
Verdet distillé du commerce.	Acétite de cuivre.
Vert-de-gris.	Oxide de cuivre vert.
Verre d'antimoine.	Oxide d'antimoine sulfuré vitreux.
Vif-argent.	Mercure.
Vinaigre de Saturne.	Acétite de plomb.
Vinaigre distillé.	Acide acéteux.
Vinaigre radical.	Acide acétique.
Vitriol blanc.	Sulfate de zinc.
Vitriol bleu.	Sulfate de cuivre.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Vitriol calcaire.	Sulfate de chaux.
Vitriol d'argile.	Sulfate d'alumine.
Vitriol de chaux.	Sulfate de chaux.
Vitriol de Chypre.	Sulfate de cuivre.
Vitriol de cuivre.	
Vitriol de fer.	Sulfate de fer.
Vitriol de Goslard.	Sulfate de zinc.
Vitriol de Mars.	Sulfate de fer.
Vitriol de potasse.	Sulfate de potasse.
Vitriol de soude.	Sulfate de soude.
Vitriol de Vénus.	Sulfate de cuivre.
Vitriol de zinc.	Sulfate de zinc.
Vitriol magnésien.	Sulfate de magnésie.
Vitriol martial.	Sulfate de fer.
Vitriol vert.	

Z.

ZINC.	Zinc.

Fin de la Synonymie ancienne & nouvelle.

SYNONYMIE
NOUVELLE ET ANCIENNE,
PAR ORDRE ALPHABÉTIQUE.

A.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
ACÉTATES.	Sels formés par la combinaison de l'acide acétique, ou vinaigre radical, avec différentes bases.
Acétites.	Sels formés par la combinaison de l'acide acéteux, ou vinaigre distillé, avec différentes bases.
Acétite alumineux.	Acete d'argile. Sel acéteux d'argile.
Acétite ammoniacal.	Acete ammoniacal. Esprit de Mendererus. Sel acéteux ammoniacal.
Acétite d'ammoniaque.	Acete ammoniacal.
Acétite de chaux.	Acete calcaire. Sel acéteux calcaire.
Acétite de cuivre.	Acete de cuivre. Verdet. Verdet distillé du commerce.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Acétite de cuivre criſtallisé.	Criſtaux de Vénus.
Acétite de fer.	Acete martial. Sel acéteux martial.
Acétite de magnéſie.	Acete de magnéſie. Sel acéteux magnéſien.
Acétite de mercure.	Acete mercuriel. Terre foliée mercurielle.
Acétite de plomb.	Acete de plomb. Encre de ſympathie par la litharge. Sel de Saturne. Sucre de Saturne. Vinaigre de Saturne.
Acétite de potaſſe.	Acete de potaſſe. Terre foliée du tartre.
Acétite de ſoude.	Acete de ſoude. Sel acéteux minéral. Terre foliée criſtalliſée. Terre foliée minérale.
Acétite de zinc.	Acete de zinc. Sel acéteux de zinc.
Acide acéteux.	Acide acéteux. Vinaigre diſtillé.
Acide acétique.	Eſprit de Vénus. Vinaigre radical.
Acide arſenique.	Acide arſenical.
Acide benzoïque.	Acide benzonique. Acide du benjoin. Sel de benjoin.
Acide benzoïque ſublimé.	Fleurs de benjoin. Sel volatil de benjoin.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Acide bombique.	Acide du ver à soie.
Acide boracique.	Acide boracin. Acide du borax. Acide sédatif. Sel sédatif. Sel volatil narcotique de vitriol.
Acide carbonique.	Acide aérien. Acide athmosphérique. Acide charbonneux. Acide crayeux. Acide méphitique. Air fixé. Eau aérée.
Acide camphorique.	Acide du camphre.
Acide citrique.	Acide citronien. Suc de citron.
Acide fluorique.	Acide fluorique. Acide spathique.
Acide formique.	Acide des fourmis. Acide formicin.
Acide gallique.	Acide gallique. Principe astringent.
Acide lactique.	Acide galactique. Petit lait aigri.
Acide lithique.	Acide bezoardique. Acide du calcul. Acide lithiasique.
Acide malique.	Acide des pommes. Acide malusien.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Acide muriatique.	Acide du sel marin. Acide marin. Esprit de sel. Esprit de sel fumant.
Acide muriatique oxigéné.	Acide marin aéré. Acide marin déphlogistiqué.
Acide nitreux.	Acide nitreux fumant. Acide nitreux phlogistiqué. Acide nitreux rutilant. Esprit de nitre fumant.
Acide nitreux du commerce.	Eau-forte.
Acide nitrique.	Acide nitreux blanc. Acide nitreux dégasé. Acide nitreux déphlogistiqué.
Acide nitrique étendu d'eau.	Esprit de nitre.
Acide nitro-muriatique.	Acide régalin. Eau régale.
Acide oxalique.	Acide de l'oseille. Acide du sucre. Acide oxalin. Acide saccarin.
Acide phosphoreux.	Acide phosphorique phlogistiqué. Acide phosphorique volatil.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Acide phoſphorique.	Acide de l'urine. Acide phoſphorique. Acide phoſphorique déphlogiſtiqué.
Acide pruſſique.	Matiere colorante du bleu de Pruſſe.
Acide pyro-lignique.	Eſprit acide empyreumatique du bois.
Acide pyro-mucique.	Acide ſyrupeux. Eſprit de miel, de ſucre, &c.
Acide pyro-tartareux.	Eſprit de tartre.
Acide ſaccho-lactique.	Acide du ſucre de lait. Acide ſacchlactique.
Acide ſébacique.	Acide du ſuif. Acide ſébacé.
Acide ſuccinique.	Acide du ſuccin. Sel volatil de ſuccin.
Acide ſulfureux.	Acide ſulfureux. Acide ſulfureux volatil. Acide vitriolique phlogiſtiqué. Eſprit de ſoufre.
Acide ſulfurique.	Acide du ſoufre. Acide vitriolique. Huile de vitriol.
Acide ſulfurique étendu d'eau.	Eſprit de vitriol.
Acide tartareux.	Acide du tartre. Acide tartareux.
Acides étendus d'eau.	Eſprits acides.
Acier.	Acier.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Air athmoſphérique.	Air athmoſphérique.
Alcohol.	Eſprit ardent. Eſprit-de-vin.
Alcohol nitrique.	Eſprit de nitre dulcifié.
Alkalis.	Alkalis cauſtiques. Alkalis en général.
Alliage.	Alliage des métaux.
Alumine.	Argile pure. Baſe de l'alun. Terre de l'alun.
Amalgame.	Amalgame.
Ammoniaque.	Alkali volatil. Alkali volatil cauſtique. Alkali volatil fluor. Alkali urineux.
Ammoniaque étendu d'eau.	Alkali volatil de ſel ammoniac.
Antimoine.	Régule d'antimoine.
Argent.	Argent. Diane. Lune.
Argile, mêlange d'alumine & de ſilice.	Argile. Glaiſe. Terre argileuſe. Terre glaiſe.
Arome.	Eſprit recteur. Principe odorant.
Arſeniates.	Sels arſenicaux.
Arſenic.	Régule d'arſenic.

B.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
BARYTE.	Barote. Terre du ſpath peſant. Terre peſante.
Benzoates.	Sels formés par la combinaiſon de l'acide benzoïque avec différentes baſes.
Biſmuth.	Régule de biſmuth.
Bombiates.	Sels formés par la combinaiſon de l'acide bombique avec différentes baſes.
Borate.	Borax.
Borates.	Sels formés par la combinaiſon de l'acide boracique avec différentes baſes.

C.

CALORIQUE.	Chaleur fixée. Chaleur latente. Matiere de la chaleur. Matiere du feu. Principe de la chaleur. Principe du feu. Principe inflammable.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Camphorates.	Sels formés par la combinaison de l'acide camphorique avec différentes bases.
Carbonates.	Sels formés par la combinaison de l'acide carbonique avec différentes bases.
Carbonates alkalins.	Alkalis effervescens.
Carbonate ammoniacal.	Alkali volatil concret. Alkali volatil effervescent. Craie ammoniacale. Méphite ammoniacal. Sel ammoniac crayeux. Sel d'Angleterre. Sel volatil d'Angleterre.
Carbonate calcaire.	Craie. Crême de chaux. Méphite calcaire. Pierre calcaire. Spath calcaire. Terre calcaire aérée. Terre calcaire effervescente.
Carbonate d'alumine.	Argile crayeuse.
Carbonate de baryte.	Terre pesante aérée.
Carbonate de fer.	Craie martiale. Fer aéré. Méphite martial. Rouille de fer. Safran de Mars apéritif.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Carbonate de plomb.	Craie de plomb.
	Méphite de plomb.
	Plomb ſpathique.
Carbonate de potaſſe.	Alkaeſt de Vanhelmont.
	Alkali fixe du tartre non cauſtique.
	Alkali fixe végétal.
	Alkali fixe végétal aéré.
	Alkali fixe végétal effervescent.
	Alkali végétal aéré.
	Méphite de potaſſe.
	Nitre fixé par lui-même.
	Sel fixe de tartre.
	Tartre crayeux.
	Tartre méphitique.
Carbonate de potaſſe impur.	Potaſſe du commerce.
Carbonate de ſoude.	Alkali fixe minéral aéré.
	Alkali fixe minéral effervescent.
	Alkali marin non cauſtique.
	Alkali minéral aéré.
	Alkali minéral effervescent.
	Baſe du ſel marin.
	Craie de ſoude.
	Criſtaux de ſoude.
	Méphite de ſoude.
	Natron.
	Natrum.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Carbonate de soude.	Soude aérée. Soude crayeuse. Soude effervescente.
Carbonate de zinc.	Craie de zinc. Méphite de zinc.
Carbone.	Charbon pur. Principe charbonneux.
Carbure de fer.	Plombagine.
Chaux.	Chaux vive. Terre calcaire.
Chaux délayée dans l'eau.	Lait de chaux.
Chaux dissoute dans l'eau.	Eau de chaux.
Citrates.	Sels formés par la combinaison de l'acide citrique avec différentes bases.
Cobalt.	Cobalt. Cobolt. Régule de cobalt.
Cuivre.	Cuivre. Vénus.

E.

Eau de chaux.	Eau de chaux.
Eaux imprégnées d'acide carbonique.	Eaux acidules. Eaux gaseuses.
Eaux sulfurées. Eaux sulfureuses.	Eaux hépatiques.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Etain.	Etain. Jupiter.
Ether.	Ether.
Ether acétique.	Ether acéteux.
Ether muriatique.	Ether marin.
Ether nitrique.	Ether nitreux.
Ether ſulfurique.	Ether vitriolique.
Extractif (l').	Extrait.

F.

FÉCULE.	Fécule des plantes.
Fer.	Fer. Mars.
Fluates.	Sels formés par la combinaiſon de l'acide fluorique avec différentes baſes.
Fluate de chaux.	Fluor ſpathique. Spath cubique. Spath fluor. Spath phoſphorique. Spath vitreux.
Formiates.	Sels formés par la combinaiſon de l'acide formique avec différentes baſes.

G.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
GAZ.	Fluides aériformes. Fluides élaſtiques. Gas.
Gas acide acéteux.	Gas acide acéteux.
Gas acide carbonique.	Air factice. Air fixe. Air ſolide de Hales. Gas acide crayeux. Gas méphitique. Gas ſylveſtre. Spiritus Sylveſtris.
Gas acide fluorique.	Gas acide fluorique. Gas acide ſpathique.
Gas acide muriatique.	Air marin. Gas acide marin. Gas acide muriatique.
Gas acide nitreux.	Gas acide nitreux.
Gas acide ſulfureux.	Air acide vitriolique. Gas acide ſulfureux. Gas acide vitriolique.
Gas ammoniacal.	Air alkalin. Eſprit alkalin volatil. Gas alkali volatil. Gas alkalin.
Gas azotique.	Air gâté. Air phlogiſtiqué. Air vicié.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Gas azotique.	Gas athmoſphérique. Gas phlogiſtiqué. Mofete athmoſphérique.
Gas hydrogène.	Air inflammable. Gas inflammable. Phlogiſtique de M. Kirvan.
Gas hydrogène carboné.	Gas inflammable carboné. Gas inflammable charbonneux.
Gas hydrogène carbonique.	Gas inflammable carbonique.
Gas hydrogène des marais.	Air inflammable des marais. Gas inflammable des marais. Gas inflammable mofétiſé.
Gas hydrogène phoſphoré.	Gas inflammable phoſphoré. Gas phoſphorique.
Gas hydrogène ſulfuré.	Air puant du ſoufre. Gas hépatique. Gas inflammable ſulfuré.
Gas muriatique oxigéné.	Gas acide marin déphlogiſtiqué. Gas acide muriatique aéré.
Gas nitreux.	Gas nitreux.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Gas oxigène.	Air déphlogistiqué. Air du feu de Scheele. Air pur. Air vital.

H.

HUILES empyreumatiques.	Huiles empyreumatiques.
Huiles fixes.	Huiles douces. Huiles grasses. Huiles par expression.
Huiles volatiles.	Essences. Huiles essentielles. Huiles éthérées.
Huiles volatiles animales.	Huiles animales.

L.

LACTATES.	Sels formés par la combinaison de l'acide lactique, ou de l'acide du petit lait aigri, avec différentes bases.
Litharge.	Litharge.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Lithiates.	Sels formés par la combinaiſon de l'acide lithique, ou de l'acide de la pierre de la veſſie, avec différentes baſes.

M.

MALATES.	Sels formés par la combinaiſon de l'acide malique, ou de l'acide des pommes, avec différentes baſes.
Manganèſe (le).	Régule de manganèſe.
Mercure.	Mercure. Vif-argent.
Minium.	Minium.
Molibdates.	Sels formés par la combinaiſon de l'acide molybdique avec différentes baſes.
Molybdène (le).	Régule de molybdène.
Muqueux (le).	Mucilage.
Muriates.	Sels formés par la combinaiſon de l'acide muriatique avec différentes baſes.
Muriate calcaire.	Huile de chaux.
Muriate calcaire ſec.	Phoſphore de Homberg.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Muriate d'alumine.	Alun marin. Sel marin argileux.
Muriate d'ammoniaque.	Salmiac. Sel ammoniac.
Muriate d'antimoine fumant.	Beurre d'antimoine.
Muriate d'argent.	Argent corné. Lune cornée.
Muriate de chaux.	Eau mere du sel marin. Sel ammoniac fixe. Sel marin calcaire.
Muriate de cobalt.	Encre de sympathie par le cobalt.
Muriate de mercure corrosif.	Sublimé corrosif.
Muriate de mercure doux.	Sublimé doux.
Muriate de mercure doux sublimé.	Aquila alba.
Muriate de plomb.	Plomb corné.
Muriate de soude.	Sel commun. Sel marin.
Muriate de soude fossile.	Sel gemme.
Muriates oxigénés.	Sels formés par la combinaison de l'acide muriatique oxigéné avec la potasse & la soude, découverts par M. Bertholet.

N.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
NICKEL.	Régule de nickel.
Nitrates.	Sels formés par la combinaison de l'acide nitrique avec différentes bases.
Nitrate d'argent.	Cristaux de lune. Nitre d'argent. Nitre lunaire.
Nitrate d'argent fondu.	Pierre infernale.
Nitrate de chaux.	Eau mere du nitre. Nitre calcaire.
Nitrate de potasse.	Nitre. Salpêtre. Sel de nitre.
Nitrate de soude.	Nitre cubique. Nitre quadrangulaire. Nitre rhomboïdal.
Nitre.	Nitre. Salpêtre. Sel de nitre.
Nitrites.	Sels formés par la combinaison de l'acide nitreux avec différentes bases.
Nitrite d'alumine.	Alun nitreux.
Nitro-muriates.	Sels formés par la combinaison de l'acide nitro-muriatique avec différentes bases.

O.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
OR.	Or. Soleil.
Oxalates.	Sels formés par la combinaiſon de l'acide oxalique avec différentes baſes.
Oxalate acidule de poraſſe.	Sel d'oſeille du commerce.
Oxides métalliques.	Chaux métalliques.
Oxides métalliques ſublimés.	Fleurs métalliques.
Oxide d'antimoine ſulfuré rouge.	Kermès minéral.
Oxide d'antimoine ſulfuré vitreux.	Verre d'antimoine.
Oxide d'arſenic.	Arſenic blanc. Chaux d'arſenic.
Oxide d'arſenic blanc ſublimé.	Fleurs d'arſenic.
Oxide d'arſenic ſulfuré jaune.	Orpiment.
Oxide d'arſenic ſulfuré jaune & chaux, diſſous dans l'eau.	Encre de ſympathie par l'orpiment & la chaux.
Oxide d'arſenic ſulfuré rouge.	Arſenic rouge. Réalgal. Réalgar.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Oxide de bismuth blanc par l'acide nitrique.	Blanc de fard. Magistere de bismuth.
Oxide de bismuth sublimé.	Fleurs de bismuth.
Oxide de cobalt gris avec silice.	Safre.
Oxide de cobalt vitreux.	Azur. Smalt.
Oxide de cuivre vert.	Rouille de cuivre. Vert-de-gris.
Oxide d'étain gris.	Potée d'étain.
Oxide d'étain sublimé.	Fleurs d'étain.
Oxide de fer.	Safran de Mars.
Oxide de fer brun.	Safran de Mars astringent.
Oxide de fer jaune.	Ocre.
Oxide de fer noir.	Ethiops martial.
Oxide de fer rouge.	Colcothar.
Oxide de mercure jaune par l'acide nitrique.	Turbith nitreux.
Oxide de mercure jaune par l'acide sulfurique.	Précipité jaune. Turbith minéral.
Oxide de mercure noirâtre.	Ethiops per se.
Oxide de mercure rouge par l'acide nitrique.	Précipité rouge.
Oxide de mercure rouge par le feu.	Précipité per se.
Oxide de mercure sulfuré noir.	Ethiops minéral.
Oxide de mercure sulfuré rouge.	Cinnabre.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Oxide d'or ammoniacal.	Or fulminant.
Oxide d'or par l'étain.	Pourpre de Caſſius. Précipité de Caſſius. Précipité d'or par l'étain.
Oxide de plomb.	Chaux de plomb.
Oxide de plomb blanc par l'acide acéteux.	Blanc de plomb. Céruſe.
Oxide de plomb demi-vitreux.	Litharge.
Oxide de plomb jaune.	Maſſicot.
Oxide de plomb rouge.	Minium.
Oxigène.	Baſe de l'air pur. Baſe de l'air vital. Empyrée. Oxigine. Principe acidifiant. Principe ſorbile de M. Ludbock.

P.

PHOSPHATES.	Sels formés par la combinaiſon de l'acide phoſphorique avec différentes baſes.
Phoſphate de mercure.	Précipité roſe de mercure.
Phoſphate de ſoude & d'ammoniaque.	Sel fuſible de l'urine. Sel natif de l'urine.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Phosphites.	Sels formés par la combinaison de l'acide phosphoreux avec différentes bases.
Phosphore.	Phosphore de Kunckel.
Phosphures.	Combinaisons du phosphore non oxigéné avec différentes bases.
Platine (le).	Juan blanca. Platina del Pinto. Platine (la).
Plomb.	Plomb. Saturne.
Potasse.	Alkali fixe du tartre caustique. Alkali fixe végétal caustique. Alkali végétal. Alkali végétal caustique.
Potasse fondue.	Pierre à cautere.
Potasse mêlangée de carbonate de potasse en déliquescence.	Huile de tartre par défaillance.
Principe hypothétique de Beccher.	Mercure des métaux. Principe mercuriel.
Principe hypothétique de Meyer.	Causticum.
Principe hypothétique de Stahl.	Phlogistique.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Prussiates.	Sels formés par la combinaison de l'acide prussique, ou matiere colorante du bleu de Prusse, avec différentes bases.
Prussiate de fer.	Bleu de Berlin. Bleu de Prusse.
Pyro-lignites.	Sels formés par la combinaison de l'acide pyro-lignique avec différentes bases.
Pyro-mucites.	Sels formés par la combinaison de l'acide pyro-mucique avec différentes bases.
Pyro-tartrites.	Sels formés par la combinaison de l'acide pyro-tartareux avec différentes bases.
Pyrophore de Homberg.	Pyrophore de Homberg.

S.

S.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
SACCHO-LATES.	Sels formés par la combinaison de l'acide saccho-lactique avec différentes bases.
Safre.	Safre.
Savons.	Combinaisons des huiles grasses ou fixes avec différentes bases.
Savons acides.	Combinaisons des huiles grasses ou fixes avec différens acides.
Savons métalliques.	Combinaisons des huiles grasses ou fixes avec les substances métalliques.
Savonules.	Combinaisons des huiles volatiles ou essentielles avec différentes bases.
Savonules acides.	Combinaisons des huiles volatiles ou essentielles avec différens acides.
Savonules métalliques.	Combinaisons des huiles volatiles ou essentielles avec les substances métalliques.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Sébates.	Sels formés par la combinaiſon de l'acide ſébacique, ou de l'acide de la graiſſe, avec différentes baſes.
Silice.	Terre ſiliceuſe.
Soude.	Alkali marin. Alkali marin cauſtique. Alkali minéral. Alkali minéral cauſtique. Baſe du ſel marin. Soude cauſtique.
Soufre.	Soufre.
Soufre ſublimé.	Fleurs de ſoufre.
Succin.	Ambre jaune. Karabé. Succin.
Succinates.	Sels formés par la combinaiſon de l'acide ſuccinique avec différentes baſes.
Sulfates.	Sels formés par la combinaiſon de l'acide ſulfurique avec différentes baſes.
Sulfate d'alumine.	Alun. Vitriol d'argile.
Sulfate calcaire.	Plâtre.
Sulfate de Baryte.	Spath peſant.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Sulfate de chaux.	Gypſe. Sélénite. Vitriol calcaire. Vitriol de chaux.
Sulfate de cuivre.	Couperoſe bleue. Vitriol bleu. Vitriol de Chypre. Vitriol de cuivre. Vitriol de Vénus.
Sulfate de fer.	Couperoſe verte. Vitriol de fer. Vitriol de Mars. Vitriol martial. Vitriol vert.
Sulfate de magnéſie.	Sel cathartique amer. Sel de canal. Sel d'epſom. Sel de ſedlitz. Sel de ſeydſchutz. Vitriol magnéſien.
Sulfate de potaſſe.	Arcanum duplicatum. Sel de duobus. Sel polychreſte de Glaſer. Tartre vitriolé. Vitriol de potaſſe.
Sulfate de ſoude.	Sel de glauber. Vitriol de ſoude.
Sulfate de zinc.	Couperoſe blanche. Vitriol blanc. Vitriol de Goſlard. Vitriol de zinc.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Sulfites.	Sels formés par la combinaison de l'acide sulfureux avec différentes baſes.
Sulfures.	Foies de ſoufre. Hépars.
Sulfures alkalins.	Foies de ſoufre alkalins. Hépars alkalins.
Sulfures calcaires.	Foies de ſoufre calcaires.
Sulfure d'alumine carboné.	Pyrophore de Homberg.
Sulfure d'antimoine.	Antimoine crud.
Sulfure d'antimoine natif.	Mine d'antimoine.
Sulfure de cuivre.	Pyrite de cuivre.
Sulfure de fer.	Pyrite martiale.
Sulfures métalliques.	Combinaiſons du ſoufre avec les métaux.

T.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
TARTRE.	Tartre crud.
Tartrites.	Sels formés par la combinaison de l'acide tartareux avec différentes baſes.
Tartrite acidule de potaſſe.	Crême de tartre. Criſtaux de tartre. Tartre.
Tartrite de chaux.	Tartre calcaire.
Tartrite de potaſſe.	Sel végétal. Tartre de potaſſe. Tartre ſoluble. Tartre tartariſé.
Tartrite de potaſſe antimonié.	Emétique. Tartre antimonié. Tartre émétique. Tartre ſtibié.
Tartrite de ſoude.	Sel de ſeignette. Sel polychreſte de la Rochelle. Tartre de ſoude.
Terre ſilicée.	Terre ſiliceuſe.

Z.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
ZINC,	{ Régule de zinc. Zinc.

Fin de la Synonymie nouvelle & ancienne.

TABLE
DES CHAPITRES.

Les chiffres indiquent les Articles, & non les pages.

PRINCIPES de Physique. Article 1

CHAPITRE I. *Des Propriétés générales des corps.* 4

Etendue. 6

Divisibilité. 7

Figurabilité. 10

Impénétrabilité. 11

Porosité. 15

Raréfactibilité. 22

Condensabilité. 23

Compressibilité. 24

Elasticité. 31

Dilatabilité. 39

Mobilité. 40
Inertie. 41
CHAPITRE II. *Du Mouvement & de ſes Loix.* 46
1. *Force motrice.* 49
Force morte. 50
Force vive. 51
2. *Maſſe des corps.* 52
3. *Direction des Mouvemens.* 53
4. *Eſpace parcouru.* 54
5. *Temps employé.* 55
6. *Vîteſſe.* 56
Vîteſſe uniforme. 57
Vîteſſe accélérée. 58
Vîteſſe retardée. 59
Vîteſſe abſolue. 60
Vîteſſe relative. 61
Vîteſſe reſpective. 62
7. *Quantité du Mouvement.* 63
Mouvement abſolu. 65
Mouvement relatif. 66
Mouvement ſimple. 67
Mouvement compoſé. 68

Mouvement rectiligne. 69
Mouvement curviligne. 70
Mouvement réfléchi. 71
Mouvement réfracté. 72
Loix du Mouvement. 73
I. *Loix du Mouvement simple.* 74
Réſiſtance des Milieux, ou des Fluides. 76
Réſiſtance des Frottemens. 96
II *Loix du Mouvement ſimple.* 111
III *Loix du Mouvement ſimple.* 112
CHAPITRE III. *Des cauſes qui changent la direction du Mouvement.* 113
Changement de direction occaſionné par une matiere fluide; ou Réfraction. 114
Changement de direction occaſionné par un obſtacle impénétrable & fixe; ou Réflexion. 128
Changement de viteſſe & de direction occaſionné par un obſtacle impénétrable, & qui peut être déplacé; ou Choc des corps. 136
Choc des corps non élaſtiques. 141
Choc des corps élaſtiques. 148

CHAPITRE IV. *Des Loix du Mouvement composé.* 159
Loi du Mouvement composé. 160
Mouvement composé en ligne droite. 161
Mouvement composé en ligne courbe. 168
CHAPITRE V. *Des Forces centrales.* 172
CHAPITRE VI. *De la Gravité ou Gravitation des corps.* 194
CHAPITRE VII. *De la Pesanteur des corps.* 198
Phénomenes où la Pesanteur agit seule sur les corps. 200
Phénomenes où le mouvement est composé de la pesanteur & de quelque autre puissance. 228
Chûte des corps par les plans inclinés. 231
Mouvement d'Oscillation. 258
Mouvement de Projection. 270
CHAPITRE VIII. *De l'Hydrodynamique.* 277
De l'Hydrostatique, ou de la Pesanteur & de l'Equilibre des Fluides. 278
Pesanteur & Equilibre d'un fluide seul & homogene. 283

Pesanteur & Equilibre de plusieurs Fluides dont les densités sont différentes. 297

Pesanteur & Equilibre des Solides plongés dans les Fluides. 315

Phénomenes des Tuyaux capillaires. 343

De l'Hydraulique; ou du Mouvement des Fluides. 358

Ecoulemens des Fluides ou Liqueurs par de petits orifices. 359

Ecoulemens des Fluides ou Liqueurs par des tuyaux additionnels. 381

Des Jets d'eau. 398

Des Pompes. 410

Mouvemens des Eaux dans les tuyaux de conduite. 434

Mouvement oscillatoire de l'Eau dans un Siphon. 444

Mouvement oscillatoire de l'Eau dans les Ondes. 447

Mouvement des Roues mues par le choc de l'eau. 451

Mouvement des Roues mues par le poids de l'Eau. 458

CHAPITRE IX. *De la Mécanique ſtatique.* 464
Du Levier. 475
De la Poulie. 494
Des Roues. 510
Du Treuil. 523
Du Cabeſtan. 529
Du Cric. 536
Du Plan incliné. 539
Du Coin. 547
De la Vis. 553
De la Vis ſans fin. 559
De la Vis d'Archimedes. 567
Des réſiſtances qu'éprouvent les Machines lorſqu'elles ſont prêtes à ſe mouvoir. 570
De la Roideur des cordes. 572
CHAPITRE X. *Des Fluides élaſtiques.* 587
Baſes des Fluides élaſtiques. 610
Compoſition des Acides, &c. 626
Fluides élaſtiques vivifians. 642
Air athmoſphérique. 643
Air pur ou vital, ou Gas oxigène. 647
Fluides élaſtiques ſuffoquans. 671

Gas non-salins. 672
Gas azotique. 673
Gas nitreux. 691
Gas muriatique oxigéné. 717
Gas salins. 734
Gas acide carbonique. 735
Gas acide muriatique. 767
Gas acide sulfurique. 786
Gas acide fluorique. 795
Gas ammoniacal. 804
Gas hydrogènes ou inflammables. 815
Gas hydrogène pur. 832
Gas hydrogène sulfuré. 854
Gas hydrogène phosphoré. 862
Gas hydrogène carboné. 868
Gas hydrogène carbonique. 874
Gas hydrogène des marais. 879
Pesanteurs spécifiques des Fluides élastiques. 884
CHAPITRE XI. *Des Propriétés de l'Air.* 886
L'Air considéré en lui-même. 888
L'Air considére comme athmosphere terrestre. 953

L'athmoſphere conſidérée comme un Fluide en repos. 956
L'athmoſphere conſidérée comme un Fluide agité. 991
Du Son. 992
Des Vents. 1030
CHAPITRE XII. *Des Propriétés de l'Eau.* 1040
L'Eau conſidérée dans l'état de liqueur. 1042
L'eau conſidérée dans l'état de vapeur. 1062
L'eau conſidérée dans l'état de glace. 1069
CHAPITRE XIII. *De la Nature & des Propriétés du Feu.* 1099
De la Nature du Feu. 1101
Des moyens par leſquels on peut exciter l'action du Feu. 1110
De la maniere dont l'action du Feu ſe propage. 1126
Des effets du Feu ſur les corps. 1133
Des moyens d'augmenter ou de diminuer l'action du Feu. 1153
Du refroidiſſement. 1162
CHAPITRE XIV. *De la Nature & des Propriétés de la Lumiere.* 1173

De la Propagation de la Lumiere. 1178
Des Directions que ſuit la Lumiere dans ſes différens mouvemens. 1183
Des Principes de l'Optique. 1187
Des Principes de la Catoptrique. 1216
Du Miroir plan. 1238
Du Miroir priſmatique. 1246
Du Miroir pyramidal. 1247
Du Miroir convexe. 1248
Du Miroir concave. 1252
Du Miroir elliptique. 1265
Du Miroir parabolique. 1266
Du Miroir cylindrique. 1267
Du Miroir conique. 1273
Des Principes de la Dioptrique. 1278
Des Lentilles. 1355
Des Verres concaves. 1365
Des Couleurs. 1369
Théorie des Couleurs. 1373
Expériences ſur leſquelles eſt fondée la Théorie des Couleurs. 1397
Des Couleurs conſidérées dans les objets qui nous les font ſentir. 1476

CHAPITRE XV. *De la Vision des objets.* 1494
De la Vision naturelle. 1498
De la Vision artificielle & des Instrumens d'Optique. 1556
Des Lunettes. 1558
Des Polemoscopes. 1562
Des Optiques. 1564
Des Chambres noires. 1566
Des Téleſcopes dioptriques. 1574
Téleſcope de Galilée. 1579
Téleſcope aſtronomique. 1590
Téleſcope aérien. 1603
Téleſcope terreſtre, ou Lunette d'approche. 1612
Lunette d'approche de nuit. 1620
Des Téleſcopes catadioptriques. 1623
Téleſcope Newtonien. 1627
Téleſcope Grégorien. 1633
Téleſcope de Caſſegrain. 1638
Téleſcope de Jacques Le Maire. 1643
Des Lunettes achromatiques. 1647
Des Microſcopes. 1658

Microſcope

Microscope simple. 1660
Microscope composé. 1666
Microscope solaire. 1672
CHAPITRE XVI. *De l'Astronomie physique.* 1678
Des Phénomenes célestes, selon le système de Copernic. 1711
Des Etoiles. 1712
Du Soleil. 1740
Des Planetes. 1758
Des Planetes primitives. 1780
Des Planetes secondaires. 1857
Des Cometes. 1895
Des Mouvemens, particuliérement de la Terre, du Soleil, & de la Lune; & des Phénomenes qui en résultent. 1901
De la Terre. 1902
Des Saisons. 1936
Du Soleil. 1941
De la Lumiere zodiacale. 1954
De la Division du temps. 1961
De la Lune. 1993

Des Eclipſes. 2009

CHAPITRE XVII. *Du Flux & Reflux.* 2034

Théorie du Flux & Reflux. 2055

CHAPITRE XVIII. *Du Magnétiſme.* 2085

Attraction magnétique. 2093

Répulſion magnétique. 2106

Direction magnétique. 2112

Déclinaiſon magnétique. 2114

Inclinaiſon magnétique. 2119

Communication de la vertu magnétique. 2123

Méthode de M. Knight. 2129

Méthode de M. Canton. 2130

Méthode de M. Mitchell. 2135

Méthode de M. Pierre Le Maire. 2141

Méthode de M. Duhamel. 2142

Méthode de M. Antheaume. 2153

Manieres d'aimanter ſans aimant. 2157

Méthode de M. Canton. 2158

Méthode de M. Mitchell. 2160

Méthode de M. Antheaume. 2164

Avantages des Aimans artificiels. 2167

Quelles ſont les eſpeces d'acier qu'il faut préférablement employer pour faire des Aimans artificiels. 2172
De la Bouſſole. 2182
Des cauſes des Propriétés magnétiques. 2189
Théorie du Magnétiſme d'Æpinus. 2199
CHAPITRE XIX. *De l'Electricité.* 2219
De la nature de la vertu électrique. 2224
Des moyens de faire naître la vertu électrique. 2239
Des ſignes par leſquels la vertu électrique ſe manifeſte. 2249
Des principaux Inſtrumens qui ſervent à produire les Phénomenes électriques. 2251
Des Phénomenes électriques. 2275
Théorie de l'Electricité de M. Dufay. 2307
Théorie de l'Electricité de M. l'Abbé Nollet. 2331
Théorie de l'Electricité de M. Jallabert. 2372
Théorie de l'Electricité de M. Franklin. 2400
Théorie de l'Electricité de M. Æpinus. 2461

Propositions fondamentales. 2510
Explication des Phénomenes. 2546
Analogie entre les effets du Tonnerre & ceux de l'Electricité. 2595
Aurores boréales. 2608
Des Trombes. 2612

Fin de la Table des Chapitres.

TRAITÉ

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE DE PHYSIQUE,

Ou Principes de Physique, fondés sur les connoissances les plus certaines, tant anciennes que modernes, & confirmés par l'expérience.

1. LA Physique est, de toutes les Sciences, la plus étendue; elle a pour objet tous les corps de la Nature. On ne pourroit tout au plus lui comparer, à cet égard, que l'Histoire Naturelle: encore l'objet de cette derniere n'est-il pas aussi général; car elle ne traite que des substances terrestres: & le domaine de la Physique n'est pas restreint à la terre; il s'étend jusque dans les cieux.

2. L'objet de la Physique, & principalement de la Physique expérimentale, qui est celle dont nous traitons, est de connoître les phénomenes de

la Nature, & d'en montrer les causes par des preuves de fait. C'est par les faits que nous acquérons la connoissance des phénomenes ; & d'autres faits nous en démontrent les causes.

3. Il y a cependant un certain nombre de faits dont nous ignorons complettement la cause ; car nous ne savons pas tout, à beaucoup près. Ceux de ces faits qui sont toujours uniformes, toujours constans, sont ce que les Physiciens appellent *Propriétés* ; & ils en font usage pour rendre raison d'un grand nombre de phénomenes. Nous ne connoissons pas toutes les propriétés des corps : une preuve de cela, c'est que nous en découvrons de temps en temps de nouvelles. Et qui est-ce qui peut assurer avoir découvert la derniere ? Parmi celles qui sont connues, les unes appartiennent à tous les corps indistinctement ; les autres n'appartiennent qu'à certains corps, exclusivement à d'autres. Les premieres s'appellent *Propriétés générales* : telles sont l'*Etendue*, la *Divisibilité*, la *Figurabilité*, l'*Impénétrabilité*, la *Porosité*, la *Raréfactibilité*, la *Condensabilité*, la *Compressibilité*, l'*Elasticité*, la *Dilatabilité*, la *Mobilité*, & l'*Inertie*. On nomme les secondes, *Propriétés particulieres* : telles sont la *Malléabilité*, la *Fluidité*, la *Liquidité*, &c.

Nous allons traiter d'abord des propriétés générales : nous traiterons ensuite des particulieres.

CHAPITRE I.

Des Propriétés générales des corps.

4. ON appelle *Corps*, toutes les ſubſtances matérielles dont l'aſſemblage compoſe l'Univers, & qui ſe font ſentir à nous par le moyen de quelques-uns de nos ſens.

5. On ne peut connoître les propriétés des corps que par l'expérience : nous devons donc regarder comme des propriétés générales, celles qui ſe trouvent dans tous les corps, & que nos ſens nous y font appercevoir.

Étendue.

6. Ce qui ſe préſente le premier à nos ſens ou même à nos idées, lorſque nous examinons ou que nous concevons un corps, c'eſt ſon *Étendue* ; c'eſt-à-dire, une grandeur déterminée, dans laquelle nous concevons toujours une agrégation de parties. Cette étendue a toujours trois dimenſions, *longueur*, *largeur*, & *profondeur* ou *épaiſſeur*, que les Géometres conſiderent ſouvent & meſurent ſéparément l'une de l'autre, mais que les Phyſiciens ne ſéparent jamais, car ils regardent toujours les choſes telles qu'elles ſont. Or chaque corps,

quelque petit qu'il ſoit, a toujours un deſſus & un deſſous, une partie antérieure & une partie poſtérieure, un côté droit & un côté gauche : toutes ces choſes, priſes enſemble, forment néceſſairement une longueur, une largeur, & une épaiſſeur. Chaque corps ayant ces trois dimenſions, eſt donc néceſſairement *étendu*. Il eſt vrai que nous ne voyons pas ces trois dimenſions dans tous les corps ; il y en a de ſi petits, que nos yeux ne peuvent les appercevoir, ni nos doigts les diſtinguer : mais comme dans tous les corps qui tombent ſous nos ſens, nous appercevons cette étendue, nous pouvons affirmer qu'elle appartient à tous les corps en général.

Diviſibilité.

7. Nous ne pouvons pas avoir l'idée d'un corps, ſans concevoir une agrégation de parties (6) : nous regardons donc tous les corps comme compoſés de parties. Il eſt aiſé de concevoir que ces parties, ainſi réunies pour former un corps, peuvent être ſéparées les unes des autres : cela étant ainſi, tous les corps ſont diviſibles. La *Diviſibilité* eſt donc une propriété générale des corps ; & il n'y a de réellement indiviſible que les atomes, en cas qu'ils exiſtent. Cette diviſibilité eſt prouvée relativement aux corps d'une grandeur ſenſible : perſonne n'ignore qu'un tel corps peut être partagé en 2, en 4, en

6, en 10, en 1000, &c. Mais jusqu'où va cette divisibilité? Lorsqu'on a poussé la division jusqu'à un certain point, les corps cessent-ils d'être divisibles, ou le sont-ils à l'infini? C'est une question qui a occupé les Physiciens beaucoup plus qu'elle ne le mérite. Il est sûr que la division des corps peut être portée fort loin, & plus loin même que l'imagination n'eût pu le faire croire, si elle n'avoit été aidée par les faits. Aussi n'y a-t-il que cette divisibilité en parties extrêmement ténues, qui puisse être prouvée par l'expérience.

Expérience. Que l'on divise un morceau de bois au point de le réduire en poussiere impalpable; chacune de ces molécules de bois, toute petite qu'elle est, est encore très-divisible; car elle est encore bois, & par conséquent un être composé de principes très-différens les uns des autres, tels que d'eau, de terre, de parties huileuses, salines, &c. qu'on peut séparer par la combustion, & dont les uns se dissipent sous la forme de flamme, & d'autres sous celle de fumée, tandis que d'autres demeurent fixes & forment de la cendre, du sel, &c. Quelle division ne faut-il pas pour cela?

Expérience. Si vous faites dissoudre quelques grains de cuivre dans un peu d'acide nitreux, & que vous étendiez cette dissolution d'une assez grande quantité d'eau, toute la liqueur en sera sensiblement teinte. Quelle extrême division ne

faut-il pas encore pour cela ? Car pour que la couleur ſoit ſenſible, il doit y en avoir pluſieurs particules en chaque goutte d'eau. Cependant chacune de ces particules eſt encore diviſible ; car elle eſt encore du cuivre, que l'on peut recueillir en faiſant évaporer le diſſolvant : elle eſt donc un être encore compoſé de principes très-différens les uns des autres.

EXPÉRIENCE. Si vous vous promenez dans un jardin garni de fleurs & d'arbres odorans, tels que des orangers, des roſiers, des tubéreuſes, &c. l'air eſt tellement parfumé de l'odeur de ces fleurs, qu'on la ſent par-tout. Juſqu'à quel degré de ténuité ne doivent pas être réduites ces petites particules odorantes, & juſqu'à quel point ne doit pas être portée leur diviſion, pour être diſtribuées dans un auſſi grand eſpace, elles qui en occupoient un ſi petit dans la fleur qui les a fournies ? Cependant elles ſont encore diviſibles ; car il eſt probable que la maniere dont chacune affecte notre organe, & qui la fait ſi bien diſtinguer des autres, dépend de la différente combinaiſon des principes qui la conſtituent telle.

8. On pourroit citer encore beaucoup d'exemples, qui prouvent tous que la matiere eſt diviſible en parties encore plus ténues que tout ce que nous pouvons nous imaginer de plus délié : tels ſont les Arts du Batteur d'or, du Fileur d'or, du

Teinturier, &c. Le Batteur d'or eſt celui qui réduit l'or en feuilles minces, telles que celles dont nous faiſons uſage pour nos dorures. Le degré d'aminciſſement de ces feuilles eſt tel, que, ſuivant les obſervations de *Réaumur*, il en faudroit environ trente mille les unes ſur les autres, pour faire l'épaiſſeur d'une ligne. Et ſelon *Boyle* (*de Mirâ Subtilitate Effluviorum, cap.* 2.), 50 pouces quarrés de ces feuilles ne peſent qu'un grain. Mais un pouce peut être diviſé en 200 : chaque pouce quarré fournira donc 200 petites bandes ; & chaque bande 200 petits quarrés, dont chacun s'apperçoit aiſément à l'œil, & eſt par conſéquent encore très-diviſible. Chaque pouce quarré donnera donc 40000 parties viſibles, qui, multipliées par 50, nombre de pouces quarrés que peut fournir un grain d'or, donnent 2000000. L'Art du Fileur d'or offre encore un réſultat plus ſurprenant : il a été bien obſervé par *Réaumur.* (*Mém. de l'Acad. des Sc. année* 1713, *page* 204 *& ſuiv.*) Le Fileur d'or eſt celui qui prépare le fil d'argent doré dont on ſe ſert pour fabriquer les étoffes, les galons, la broderie, &c. Avec une quantité de feuilles d'or, qui n'excede jamais le poids de ſix onces, & qu'on diminue quelquefois preſque juſqu'à une, on couvre un cylindre d'argent d'environ 22 pouces de longueur, 15 lignes de diametre, & du poids de 45 marcs. On fait paſſer ce rouleau doré ſucceſſivement

par les trous d'une lame d'acier, qui vont en décroiſſant, de façon qu'en s'alongant aux dépens de ſon diametre, il devient auſſi délié qu'un cheveu, & d'une longueur qui égale celle de 193920 toiſes ou de près de 85 lieues de 2283 toiſes chacune. Pendant cette opération, l'or s'étend ſur le fil d'argent, de façon que l'argent ne demeure découvert nulle part. On paſſe enſuite ce fil doré entre deux rouleaux d'acier poli, pour en former une lame, ce qui l'alonge encore d'un ſeptieme; & cette lame ſe trouve dorée deſſus & deſſous. Cela fournit donc deux lames d'or de chacune 97 lieues de long. En combien de parties ne pourroit-on pas diviſer une pareille longueur? Mais la couche d'or, en s'étendant, s'amincit au point que, ſelon *Réaumur*, elle n'a plus que la 525000e partie d'une ligne d'épaiſſeur. Doit-on être étonné, d'après cela, que le frottement faſſe ſi promptement, de nos galons d'or, des galons d'argent? L'Art du Teinturier ne prouve pas moins la prodigieuſe diviſibilité de la matiere. Il ne faut qu'une petite quantité de matiere colorante, pour teindre une piece de drap. Suppoſons qu'on mette bout à bout tous les brins de laine qui compoſent cette piece. Quelle prodigieuſe longueur cela ne donneroit-il pas? Combien de fois y pourroit-on paſſer le ciſeau? Chaque partie détachée ſeroit un petit cercle, coloré dans toute ſa circonférence, & qui

pourroit se diviser au moins en 360 parties, comme le font les Géometres. L'imagination se refuse presque à de pareils nombres.

9. Mais quand nous avons poussé aussi loin que nous le pouvons la division des corps, & que les moyens de la pousser plus loin nous manquent, que devons-nous penser du reste? La matiere est-elle enfin divisible à l'infini, ou non? C'est une question à laquelle il est difficile de répondre, mais qui heureusement nous importe peu. Quant à nous, nous croyons devoir regarder la matiere en elle-même comme divisible à l'infini, ou du moins à l'indéfini; c'est-à-dire que nous ne connoissons point de terme de division, après lequel on puisse regarder chaque molécule de la matiere, ainsi divisée, comme indivisible en elle-même, quoique nous manquions d'agens pour entamer ces petites masses : car chacune de ces molécules est une agrégation de parties (6); chacune contient deux moitiés réunies, que l'on conçoit pouvoir être séparées; après laquelle séparation on en pourroit dire autant de chacune de ces moitiés, & ainsi de suite à l'infini. Voici donc à quoi peut se réduire la question. La divisibilité idéale, celle que l'on peut concevoir, n'a point de bornes. La divisibilité physique, possible à l'infini ou non, est une affaire de système, est une question qui ne pourra jamais être décidée, parce qu'il y aura toujours un terme

après lequel nous manquerons de moyens. Enfin la diviſibilité portée juſqu'à un point extrême, & en parties encore plus ténues que tout ce que nous pouvons nous imaginer de plus délié, eſt la ſeule certaine, la ſeule que l'expérience peut prouver.

Figurabilité.

10. On entend par ce mot *Figurabilité*, la propriété qu'ont tous les corps d'avoir toujours une figure quelconque. En effet, il eſt aiſé de concevoir qu'aucun corps ne peut exiſter ſans être figuré. Car chaque corps, grand ou petit, eſt compoſé d'une certaine quantité de matiere, que l'on appelle ſa *maſſe* : cette maſſe occupe plus ou moins d'eſpace ; c'eſt ce qu'on appelle ſon *volume* : ce volume ne peut pas n'être pas terminé par des ſurfaces : ces ſurfaces ont néceſſairement entre elles un certain arrangement, un certain ordre. C'eſt cet ordre ou cet arrangement que prennent entre elles les ſurfaces qui terminent le volume des corps, qu'on appelle *figure*. Comme il n'y a point de corps qui ne ſoit terminé par des ſurfaces, que ces ſurfaces ne ſe confondent point, & qu'elles ſe diſtinguent toujours les unes des autres, au moins par des ſituations relatives, il eſt évident qu'il n'y a point de corps qui n'ait une figure quelconque. Il n'en faut pas même excepter ceux dont la petiteſſe eſt cauſe que leur figure échappe à nos

yeux : si nos sens étoient plus délicats, ou que nous les aidassions d'un microscope, nous distinguerions les surfaces de ces petits corps, & par conséquent leur figure. Être figuré est donc une qualité qui accompagne les corps dans tous les états : la *Figurabilité* est donc une propriété commune à tous les corps, grands ou petits.

Les surfaces qui terminent les corps, peuvent varier, & varient effectivement à l'infini, soit par leur grandeur, soit par leur nombre, soit par leur arrangement respectif. D'où il suit que les figures des corps sont aussi variables, & peut-être aussi variées entre elles, qu'il est possible de combiner ensemble la grandeur, le nombre & l'ordre des superficies. Je suis assez porté à croire qu'on ne pourroit pas trouver, dans une forêt entiere, deux feuilles qui se ressemblassent en tout.

Impénétrabilité.

11. On entend par *Impénétrabilité*, la propriété qu'ont tous les corps de ne point laisser prendre toute la place qu'ils occupent, par d'autres corps, que préalablement ces autres corps ne les aient chassés de là. Cette propriété s'appelle aussi *solidité*. C'est par elle que les corps résistent à ceux qui tendent à occuper leur place. Cette résistance est non seulement commune, mais même essentielle à tous les corps : cela est vrai, soit qu'on considere

les corps dans leur tout, soit qu'on n'ait égard qu'à leurs parties les plus simples. C'est aussi le signe le moins équivoque de leur existence. Des illusions d'optique en imposent quelquefois à nos yeux; nous sommes tentés de prendre des fantômes pour des réalités : mais, en touchant, nous nous assurons du vrai, par la résistance que nous éprouvons, & par la persuasion intime où nous sommes que tout ce qui résiste est corps, est *solide*, est *impénétrable*; & qu'on ne peut placer le doigt ou autre chose dans un lieu qui est occupé par une matiere quelconque, sans employer une force capable de la pousser ailleurs. Cette résistance, qui est l'effet de l'impénétrabilité des corps, se trouve dans tous, comme nous le prouve l'expérience journaliere. Il est vrai qu'il y a tel cas où elle échappe à nos sens ou à notre attention. Certains corps nous touchent sans cesse, nous touchent par-tout également : l'habitude nous a rendu leur contact si familier, que nous avons besoin d'y réfléchir pour reconnoître l'impression qu'ils font sur nous. Quand on agit dans un air calme, on ne fait pas attention qu'on a continuellement à vaincre la résistance d'un corps dont la solidité s'oppose à nos mouvemens. Lorsque nous agissons si peu, nous croyons ne point agir. Si donc l'on prouve que l'air, ce fluide si peu résistant, a une résistance & une solidité réelles, à plus forte raison l'accordera-t-on

aux autres corps, qui ſont plus réſiſtans que lui.

EXPÉRIENCE. Prenez un cylindre de métal très-fort, fermé par un bout & ouvert par l'autre, & intérieurement bien cylindrique : ce cylindre étant plein d'air, mettez-y un piſton qui y ſoit ſi bien ajuſté, qu'il ne laiſſe pas paſſer l'air entre ſes parois & celles du cylindre. Avec une certaine force, vous pourrez enfoncer le piſton juſqu'à une certaine profondeur, parce que l'air eſt un fluide compreſſible (899), & qui cede une partie de ſa place à la force qui le comprime : mais il n'y a point de force connue qui puiſſe faire enfoncer le piſton au point de le faire toucher le fond du cylindre : il reſtera toujours entre lui & ce fond, une lame d'air qui ſera d'autant plus mince, & aura d'autant plus de denſité, que la force employée aura été plus grande ; & cette lame d'air ne ſera jamais réduite à zéro. L'air oppoſe donc une réſiſtance réelle aux corps qui tendent à le déplacer ; à plus forte raiſon, les autres corps, plus réſiſtans que lui, jouiſſent-ils de cette propriété.

12. C'eſt cette réſiſtance de l'air qui eſt cauſe qu'on ne peut pas remplir de liqueur une bouteille pleine d'air, ſi le canal de l'entonnoir remplit trop exactement le goulot de la bouteille : ſi l'air ne peut pas ſortir, ſa réſiſtance empêche la liqueur d'entrer. C'eſt par la même raiſon qu'un tonneau,

percé d'un trou de vrille, ne laisse point écouler la liqueur qu'il contient : l'air qui se présente au trou, résiste à cet écoulement, à moins que le trou ne soit assez grand pour donner en même temps un passage libre aux deux fluides, qui coulent en sens contraire.

13. Il y a cependant certains corps qui paroissent se laisser pénétrer par d'autres ; mais ce n'est qu'une pénétration apparente, & point du tout réelle. Une éponge, par exemple, reçoit & retient intérieurement une grande quantité d'eau ; mais cette eau va se loger seulement dans les vides qui se trouvent entre les parties de l'éponge, & n'occupe nullement la place des parties propres de l'éponge. On en peut dire autant d'un morceau de sucre, d'une pierre tendre, &c. La pierre des carrieres de *Bouré*, près Montrichard, à neuf lieues de Tours, retient plus de 25 livres d'eau par pied cube. Mais cette eau ne va occuper que des espaces que les parties de la pierre ou du sucre laissent entre elles vides de leur propre substance, & jamais la place qu'occupent ces parties elles-mêmes. Deux chopines, l'une d'eau & l'autre d'esprit-de-vin, mêlées ensemble, ne suffisent pas pour remplir une pinte. Un vase plein d'eau admet encore beaucoup de sable ou de cendre.

EXPÉRIENCE. A un volume d'eau de cinq pouces cubes ajoutez un pareil volume de cendre, le volume

du mélange ne ſera que de ſix pouces cubes. Voilà donc 4 dixiemes du volume total abſorbés par la pénétration apparente.

14. Il faut donc diſtinguer la grandeur apparente des corps, de leur *ſolidité* réelle; car il reſte des vides entre les parties de ces corps; & l'*Impénétrabilité*, dont il eſt ici queſtion, n'appartient qu'aux parties ſolides des corps, qui ſe trouvent liées enſemble dans le même tout, & non pas au compoſé qui en réſulte.

Poroſité.

15. Nous venons de dire qu'entre les parties ſolides des corps, il y a des interſtices vides de leur propre ſubſtance (13): c'eſt-là ce que l'on appelle *Pores*. Tels ſont les trous que l'on voit dans une éponge; ce ſont autant de pores de l'éponge: tels ſont encore les petits trous que l'on voit dans une lame mince de bois, qu'on obſerve avec un microſcope.

Il n'y a point de corps dont les parties ſoient tellement rapprochées les unes des autres, qu'il ne reſte entre elles aucun interſtice vide de leur propre ſubſtance. La *Poroſité* eſt donc une propriété générale, & qui appartient à tous les corps; mais elle n'appartient pas à tous au même degré: les uns ont une plus grande poroſité que les autres; & cette plus grande poroſité ſe meſure par la moindre

pesanteur spécifique ; car la porosité est en raison inverse de cette pesanteur. Les pores les plus ouverts ne sont pas toujours une preuve de la plus grande porosité : le nombre compense, & même surpasse quelquefois, ce que fait la grandeur. Par exemple, les pores du bois de chêne sont beaucoup plus ouverts que ceux du liége : cependant le bois de chêne a une porosité moindre que celle du liége; car, à volume égal, il pese plus que lui.

16. Quoique nous sachions que la porosité appartient à tous les corps, & que nous connoissions, par le poids, le rapport de la porosité d'un corps à celle d'un autre corps, nous ignorons cependant la quotité de cette porosité. Pour connoître sa valeur, il nous faudroit une matiere toute solide, une matiere qui n'eût point de pores, ou du moins une matiere dont la porosité absolue nous fût connue : alors le rapport de son poids au poids d'un autre corps, à volume égal, nous donneroit le rapport des porosités de ces deux corps, & par conséquent leurs porosités absolues. Mais nous ne connoissons point de matiere de ces especes. Le platine & l'or, qui sont de tous les corps les plus pesans, ont cependant des pores ; car le mercure & l'acide nitro-muriatique, dit *eau régale*, s'insinuent entre leurs parties & les dissolvent; & leur porosité est même assez considérable.

Suivant

Suivant *Newton* (*Trait. d'Opt. liv.* 2, *part.* 3, *prop.* 8, *page* 313), l'or a plus de pores que de parties ſolides. Quelle doit donc être la poroſité des autres corps? Cette poroſité eſt en raiſon inverſe de la denſité, ou peſanteur ſpécifique : or la denſité de l'or eſt à celle de l'eau à peu près comme $19\frac{1}{4}$ eſt à 1 ; & elle eſt à celle de l'air, comme environ 15627 eſt à 1. Mais comment concevoir une auſſi grande poroſité? *Newton*, dans l'endroit cité ci-deſſus, *page* 315, nous en donne le moyen de la maniere ſuivante. » Si nous concevons, dit-il, » que ces particules (des corps) puiſſent être telle- » ment diſpoſées, que les intervalles ou eſpaces » vides qu'il y a entre elles ſoient égaux en quan- » tité à toutes ces particules priſes enſemble ; & » que ces particules ſoient compoſées d'autres plus » petites, qui aient entre elles des eſpaces vides » d'une quantité égale à celle de toutes ces plus » petites particules ; & que ces plus petites parti- » cules ſoient pareillement compoſées d'autres » beaucoup plus petites, qui toutes enſemble ſoient » égales à tous les pores ou eſpaces vides qu'il y » a entre elles ; & ainſi de ſuite, juſqu'à ce qu'on » vienne à des particules ſolides, qui n'aient nuls » pores ou eſpaces vides ; & que dans un certain » corps il y ait, par exemple, trois pareils degrés » de particules, les moindres deſquelles ſoient » ſolides, ce corps aura ſept fois autant de pores

» que de parties ſolides. Mais s'il y a quatre pareils » degrés de particules, dont les moindres ſoient » ſolides, le corps aura quinze fois autant de pores » que de parties ſolides. S'il y en a cinq degrés, » le corps aura trente-une fois autant de pores » que de parties ſolides. S'il y en a ſix degrés, le » corps aura ſoixante-trois fois autant de pores » que de parties ſolides; & ainſi de ſuite conti- » nuellement «.

On voit que de cette maniere on pourroit arriver à une poroſité exceſſive.

17. Il n'y a point de corps viſible, ſoit à la vue ſimple, ſoit par le moyen des microſcopes, dans leſquels on n'apperçoive pas de pores. Certains fluides s'inſinuent entre les parties de certains corps (13): il faut bien, pour cela, qu'il y ait des pores; car la matiere eſt impénétrable (11). Les bois, ſur-tout les *tendres*, perdent ou acquierent de l'humidité, s'ils ſe trouvent dans des endroits plus ou moins ſecs qu'ils ne le ſont eux-mêmes. C'eſt pourquoi il arrive ſouvent que les ouvrages de menuiſerie ſe déjettent: une fenêtre qui ſe ferme aiſément dans un temps, ſe trouve trop large dans un autre, & peut à peine rentrer en place: un tonneau entr'ouvert ſe raccommode en reſtant dans l'eau, &c. Tous ces effets ne ſont autre choſe que des dimenſions diminuées par la ſéchereſſe, ou augmentées par l'humidité qui

s'insinue entre les parties des bois. On peut prévenir une grande partie de ces inconvéniens, en enduisant, de part & d'autre, les bois de menuiserie de peinture à l'huile ou de vernis : en bouchant ainsi les pores du bois avec une matiere qui n'est point pénétrable à l'eau, on empêche l'humidité d'y entrer, & même d'en sortir ; & par ce moyen, on leur conserve plus long-temps un état constant.

18. Notre transpiration prouve évidemment la porosité de notre peau : celle que l'on appelle *insensible*, & qui en effet ne s'apperçoit que par ses effets, est continuelle : aussi, selon *Santorius* & *Dodart*, perdons-nous, par elle, les cinq huitiemes de ce que nous prenons en nourriture.

19. La coquille des œufs est poreuse : c'est par ses pores que l'œuf, si-tôt après avoir été pondu, commence à se vider, & cesse d'être ce qu'on appelle *frais*. Si l'on veut l'empêcher de rien perdre, il n'y a qu'à boucher ses pores avec une matiere grasse ; de l'huile d'olives suffit pour cela. Il faut, après l'en avoir enduit par-tout avec le bout du doigt, le bien essuyer avec une serviette, afin qu'il n'en reste qu'une couche très-mince, de peur que la pression de l'air n'en fasse entrer dans l'œuf quelques gouttelettes, qui, en devenant rances, lui donneroient un mauvais goût. Pour les conserver bien frais, il faut les graisser ainsi aussi-tôt qu'ils

ſont pondus, ou du moins dans le jour même. J'en ai mangé d'ainſi préparés, qui avoient plus d'un an de date, & qui ſe ſont trouvés auſſi frais & auſſi délicats que ceux qui étoient pondus du jour. Pour les garder auſſi long-temps, il faut qu'ils n'aient pas été fécondés : car, s'ils l'ont été, ils ne peuvent ſe conſerver que ſix ſemaines ou deux mois.

20. La lumiere eſt une matiere (1174); & l'on ſait qu'elle s'inſinue & pénetre avec la plus grande facilité au travers de tous les corps tranſparens : il faut donc que ces corps aient, dans tous les ſens, une grande quantité de pores.

21. Certains corps admettent dans leurs pores certains fluides, tandis que d'autres ne peuvent pas s'y inſinuer : & le même fluide pénetre dans les pores d'un corps, tandis qu'il ne peut pas pénétrer dans ceux d'un autre. Par exemple, le marbre admet dans ſes pores l'eſprit-de-vin & les huiles, & non pas l'eau : les gommes ſe laiſſent pénétrer par l'eau, & non pas par l'eſprit-de-vin : les réſines, par l'eſprit-de-vin ou les huiles, & non pas par l'eau. L'acide nitreux s'inſinue dans les pores de l'argent & le diſſout, & n'altere pas l'or : l'acide nitro-muriatique ou *eau régale* s'inſinue dans les pores de l'or & le diſſout, & n'altere pas l'argent. L'acide nitreux diſſout le cuivre, le fer, &c. ; & ne peut pas entamer un morceau de

beurre. D'où cela vient-il? Cela ne peut pas venir seulement de ce que les pores d'une substance sont plus ouverts, & ceux d'une autre le sont moins. Car supposons que les pores des gommes soient plus ouverts que ceux des résines, & que les particules de l'eau soient plus grossieres que celles de l'esprit-de-vin; cela expliqueroit bien pourquoi l'eau ne dissout pas les résines, tandis qu'elle dissout les gommes: ses parties, trop grossieres, ne pourroient pas s'insinuer dans les pores trop peu ouverts des résines. Mais pourquoi les particules de l'esprit-de-vin, plus déliées que celles de l'eau, ne s'insinueroient-elles pas dans les pores des gommes, plus ouverts que ceux des résines, dans lesquels elles pénetrent si aisément? La seule raison de la grandeur des pores du corps à dissoudre, & de la petitesse des particules du dissolvant, ne suffit donc pas pour expliquer ces faits, quoique probablement elle y contribue pour quelque chose: il faut y joindre une autre cause. Cela vient sans doute de ce que la figure des pores du corps à dissoudre, doit être appropriée à la figure des particules du dissolvant. Et il est certain que les pores sont de différentes figures dans différens corps.

Raréfactibilité.

22. La *Raréfactibilité* est la propriété qu'ont les corps d'acquérir une augmentation de volume par

l'action de la chaleur. Cette action, par laquelle ils augmentent de volume, eſt ce qu'on appelle *Raréfaction*. Tous les corps (& l'on n'en doit excepter aucun) augmentent de volume, ou ſe raréfient toutes les fois qu'ils s'échauffent. La *Raréfactibilité* eſt donc une propriété générale & qui appartient à tous les corps.

La vraie cauſe de cette raréfaction eſt l'introduction d'une quantité plus ou moins grande de la matiere de la chaleur dans les pores des corps, qui, par ſon abondance & ſon action, pénetre les corps, en écarte les parties, & augmente ainſi leur volume, en leur faiſant occuper un eſpace plus grand que celui qu'ils occupoient auparavant. Tous les corps, ſoit ſolides, ſoit fluides, ſoit liquides, ſont ſuſceptibles de cette raréfaction : auſſi a-t-elle lieu dans tous, toutes les fois qu'ils s'échauffent, à moins que quelque cauſe plus forte ne s'oppoſe à cet effet. Nous verrons les preuves de ceci, en parlant de l'action du feu ſur les corps (1134 *& ſuiv.*).

Condenſabilité.

23. La *Condenſabilité* eſt la propriété qu'ont les corps de diminuer de volume par le refroidiſſement ; ce qui ne manque jamais de leur arriver toutes les fois qu'ils perdent une portion de la matiere de la chaleur qui s'étoit introduite dans

leurs pores. Il eſt aiſé de voir que cette propriété eſt préciſément le contraire de la propriété précédente, de la raréfactibilité (22).

Toutes les fois qu'un corps paſſe d'un lieu plus chaud dans un lieu moins chaud, ou qu'il eſt entouré d'un air moins chaud que celui qui l'environnoit auparavant, ou qu'enfin il ſe trouve voiſin de corps moins chauds que lui, il communique à ces corps voiſins une portion de la matiere de la chaleur qui le pénétroit & qui tenoit ſes parties écartées ; car la matiere de la chaleur eſt un fluide (588, 1101) ; & le propre des fluides eſt de ſe répandre uniformément par-tout, tant qu'il n'y a pas de cauſes qui s'y oppoſent. Les parties de ce corps, alors moins ſoutenues, retombent, ſe rapprochent les unes des autres, & ſe renferment dans des limites plus étroites : en un mot, ce corps devient plus petit qu'il ne l'étoit. C'eſt-là ce qu'on appelle *Condenſation*. Mais, comme il n'y a point de corps qui, en diminuant de chaleur, ne ſoit ſuſceptible de cette eſpece de rétréciſſement, on doit conclure que la *Condenſabilité* eſt une propriété générale des corps, qu'elle appartient à tous indiſtinctement & ſans aucune exception. Qu'on n'objecte pas à cela que l'eau, qui ſe gele, en ſe refroidiſſant, augmente cependant de volume (1076) : car cette augmentation eſt due à une cauſe étrangere, dont nous parlerons

en traitant de la glace ; & l'on verra alors que l'eau gelée eſt réellement de l'eau condenſée.

Nous parlerons plus amplement de la condenſation des corps, en traitant du feu & de la chaleur qui les raréfie.

Compreſſibilité.

24. De tout ce que nous avons dit de la poroſité, il ſuit que la grandeur apparente d'un corps excede toujours la quantité réelle de ſa matiere propre ; car les parties de ce corps ne ſont pas auſſi rapprochées les unes des autres qu'elles pourroient l'être, puiſqu'il reſte entre elles des vides de leur propre ſubſtance (15). La quantité de matiere qui compoſe le corps eſt ce qu'on appelle ſa *maſſe* ; & l'eſpace qu'il occupe ſe nomme ſon *volume* (10). Cet excès du volume ſur la maſſe varie, non ſeulement dans les différens corps, mais auſſi dans le même corps (22 & 23). C'eſt ce rapport du volume à la maſſe qu'on nomme *denſité* : un corps eſt plus *denſe* qu'un autre, quand la quantité réelle de ſa matiere differe moins de ſa grandeur apparente ; ou, ce qui eſt la même choſe, quand, ſous un volume donné, il contient plus de parties ſolides. Le plomb eſt plus denſe que le cuivre ; l'or l'eſt plus que l'argent, &c.

Comme nous ne connoiſſons point de corps parfaitement durs, & que tous ont des pores, il

eſt évident qu'une force extérieure, ſuffiſante pour vaincre la roideur des parties, pourra rapprocher ces parties les unes des autres, diminuer le volume de ce corps ſans diminuer ſa maſſe, & par conſéquent augmenter ſa denſité. C'eſt ce rapprochement de parties par une force extérieure, que l'on appelle *compreſſion*.

25. Nous mettons la *Compreſſibilité* au nombre des propriétés générales, & qui appartiennent à tous les corps; mais elle n'appartient pas à tous au même degré: les uns ſont très-compreſſibles, d'autres le ſont fort peu. Tous les corps que nous appelons *ſolides*, c'eſt-à-dire, ceux dont les parties adherent aſſez fortement les unes aux autres, pour n'avoir point entre elles cette mobilité reſpective qui ſe trouve entre les parties des fluides & des liquides; tous ces corps, dis-je, donnent des marques très-ſenſibles de compreſſion. Si l'on donne un fort coup de marteau ſur une maſſe d'or, ou d'argent, ou d'étain, ou de plomb, le choc du marteau y laiſſe une impreſſion très-apparente, & qui prouve évidemment que les parties ont été comprimées dans l'endroit du choc. Si l'on laiſſe tomber d'une certaine hauteur une boule de marbre, ou d'ivoire, ou d'acier, ou même un diamant (qui eſt le plus dur de tous les corps), ſur un autre corps dur, tous ces corps rejailliſſent à l'inſtant, ſe réfléchiſſent: or nous ferons voir

ci-après (31), que le mouvement de réflexion eſt une preuve certaine de la compreſſibilité des corps; car ces corps ne peuvent pas ſe réfléchir, ſi aucun d'eux n'eſt élaſtique ; & l'élaſticité ne pourroit pas exiſter dans un corps non compreſſible (32).

26. Il y a d'autres corps qui ſont beaucoup plus compreſſibles que ceux dont nous venons de parler, qui diminuent conſidérablement de volume par une preſſion qui n'eſt même pas très-forte ; tels ſont les fluides élaſtiques, comme l'air & les gas ; & c'eſt par cette propriété qu'ils ſont capables de produire des effets très-ſinguliers, dont nous parlerons en traitant de l'*air* (886 *& ſuiv.*).

27. Il exiſte auſſi une autre ſorte de ſubſtances qui ne paroiſſent donner aucun ſigne de compreſſibilité ; c'eſt-à-dire que, quelque force qu'on ait employée contre elles, elles n'ont jamais paru céder à la preſſion qu'on leur a fait éprouver ; on n'a jamais pu appercevoir la moindre diminution dans leur volume. Telles ſont toutes les liqueurs. Meſſieurs de l'*Académie del Cimento* ont fait, pour s'en aſſurer, une expérience très-ingénieuſe, mais qui malheureuſement n'eſt pas aſſez concluante. Voici en quoi elle conſiſte.

Il eſt mathématiquement démontré qu'une capacité ſphérique eſt plus grande que toute autre capacité qui auroit une ſurface égale à la ſienne. Il ſuit de là qu'un vaiſſeau qui a une figure

ſphérique, & qui eſt plein d'une liqueur quelconque, ne peut pas perdre cette figure, qu'il n'arrive l'une de ces deux choſes : ou que ce vaiſſeau augmente de ſurface, pour conſerver la même capacité, ou que la liqueur qu'il contient diminue de volume.

Expérience. Meſſieurs de l'Académie del Cimento ont donc pris une boule d'or très-mince & bien ſphérique ; ils l'ont remplie d'eau entiérement, & l'ont exactement bouchée : après quoi, au moyen d'une preſſe, ils l'ont un peu applatie ; ils en ont fait diſparoître deux petits ſegmens. Après ce changement de figure, la boule s'eſt trouvée avoir la même capacité qu'auparavant : preuve certaine que la boule eſt augmentée de ſurface. Cette expérience ſembleroit prouver que l'eau eſt abſolument incompreſſible : cependant on peut dire à cela qu'il eſt poſſible que l'eau ait été comprimée dans le premier inſtant, & qu'en ſe rétabliſſant par la force de ſon reſſort, elle ait occaſionné l'extenſion du métal : voilà pourquoi j'ai dit que cette expérience n'étoit pas concluante. Si l'on continue de preſſer la boule, l'eau, au lieu de céder à cette preſſion, ſe fait jour à travers des pores du métal, & paroît ſur la ſurface en petites gouttes ſemblables à celles de la roſée : ce qui prouve que les liqueurs ſont capables de réſiſter à une très-forte preſſion.

EXPÉRIENCE. Voilà une autre expérience qui eſt pour le moins auſſi concluante que la précédente ; car il n'y a aucun inſtant où l'on puiſſe appercevoir la moindre diminution du volume. On prend un *Fig.* 1. tuyau de verre ABCD (*fig.* 1.) aſſez épais, long d'environ 7 pieds, recourbé en forme de ſiphon en BC, ſcellé hermétiquement en D, & ouvert en A. On met du mercure dans la courbure BC ; on fait enſuite paſſer de l'eau dans la partie CD, & l'on marque exactement, avec une ſoie fine, l'endroit C, où ſe joignent le mercure & l'eau : cela fait, on remplit le tuyau de mercure de B en A. Alors l'eau qui eſt en CD ſe trouve preſſée par le poids de la colonne AB de mercure, lequel eſt égal à environ trois fois le poids de l'atmoſphere, comme nous le prouverons (301) en traitant de l'hydroſtatique. Malgré cette grande preſſion, la colonne d'eau CD ne diminue point de longueur : pour peu qu'elle en diminuât, le mercure monteroit au deſſus de la ſoie qui eſt en C ; & jamais on ne l'y voit monter, même de l'épaiſſeur d'un cheveu.

28. Quoique ces expériences paroiſſent prouver l'incompreſſibilité des liqueurs, il ne faut cependant pas les regarder comme abſolument incompreſſibles : 1°. parce que, comme nous l'avons prouvé ci-deſſus (24), tous les corps ſolides ſont compreſſibles par la raiſon qu'ils ont des pores,

ce qui permet à leurs parties de se rapprocher; de même les liqueurs, n'étant autre chose que des assemblages de petits corps solides & poreux, doivent aussi être compressibles, avec cette différence qu'elles le sont beaucoup moins, parce que la compressibilité doit diminuer comme la grandeur des corps, & que les particules des liqueurs sont prodigieusement petites : 2°. parce que les liqueurs donnent d'ailleurs des preuves de compressibilité, puisqu'elles sont capables de transmettre les sons, comme nous le prouverons (1005) en traitant des sons : or cela ne pourroit pas être, si elles n'avoient pas d'élasticité, laquelle suppose toujours la compressibilité (31, 32).

29. De tout ceci nous devons conclure que les liqueurs, quoique compressibles en elles-mêmes, sont cependant capables de résister aux efforts qu'on a employés jusqu'ici contre elles; qu'il est probable qu'elles céderoient enfin d'une maniere sensible, s'il étoit possible de les soumettre à de plus fortes pressions, & qu'elles cedent même peut-être déjà à celles qu'on emploie, mais d'une quantité trop petite pour être apperçue.

30. Il est très-avantageux pour nous que les liqueurs puissent résister à des pressions qui compriment fortement les autres corps : toutes celles que nous tirons par expression des végétaux, tels que le vin, le cidre, les huiles, &c. ne se sépareroient

point des parties solides qui les contiennent, si ces liqueurs étoient aussi compressibles qu'elles. La facilité que nous avons à extraire les sucs que la Nature y a préparés pour nos usages, est presque toute fondée sur la résistance que les liqueurs opposent aux forces qui tendent à les comprimer.

Élasticité.

31. L'*Élasticité* est l'effort par lequel les corps qui ont été comprimés, tendent à reprendre l'état qu'ils avoient avant la compression; tendent, en un mot, à se rétablir dans leur premier état. Un corps qui a de l'élasticité, est donc celui qui, après avoir été comprimé par une force quelconque, reprend, lorsque cette force cesse d'agir, les mêmes dimensions & la même figure qu'il avoit avant d'être comprimé. Tel est un arc que l'on bande en raccourcissant sa corde, & qui, si l'on vient à couper la corde ou à la lâcher, reprend sa premiere situation. Telle est encore une bille d'ivoire ou d'acier, que l'on laisse tomber sur un plan de marbre; par sa chute & son choc contre le marbre, elle éprouve une compression qui porte une portion plus ou moins grande de cette petite sphere vers son centre, & lui fait perdre sa forme ronde: l'instant après, il ne reste sur la bille aucune marque de cette compression; elle a repris sa

forme ronde par ſon élaſticité ; & c'eſt ce qui cauſe le mouvement réfléchi qu'elle éprouve en pareil cas (128).

32. Ce que nous venons de dire, prouve que l'élaſticité ſuppoſe néceſſairement dans les corps qui en jouiſſent, de la compreſſibilité. Un corps qui ne ſeroit point compreſſible, ne pourroit être élaſtique ; car ne pouvant pas changer de figure, il ne ſeroit pas dans le cas de la reprendre. De même que nous avons fait voir ci-deſſus (25, 26, 27, 28), que tous les corps ſont compreſſibles, les uns plus, les autres moins ; de même auſſi il eſt aiſé de concevoir que tous ſont élaſtiques, mais à des degrés différens.

33. L'élaſticité conſiſte donc en ce qu'un corps ſe rétabliſſe après avoir été comprimé, lorſque la force comprimante ceſſe d'agir. Pour que cette élaſticité ſoit parfaite, il faut que le corps ſe rétabliſſe, 1°. complétement ; 2°. avec autant de preſteſſe que celle avec laquelle il a été comprimé ; c'eſt-à-dire qu'il faut que le corps revienne préciſément au même état qu'il avoit auparavant, & qu'il reprenne cet état en un temps auſſi court que celui qu'il a fallu pour le lui faire perdre. Si nous en exceptons la matiere de la lumiere & les fluides aëriformes, nous ne connoiſſons point de corps qui jouiſſent de cette perfection d'élaſticité. Aucun ne ſe rétablit complétement ; & tous employent,

à reprendre leur état, plus de temps qu'ils n'en ont mis à le perdre; & parmi ceux-ci, tous ne ſont pas élaſtiques au même degré; dans les uns, cette force élaſtique eſt aiſée à appercevoir; les effets en ſont ſenſibles, & chacun réagit plus ou moins, ſelon la dureté, la roideur ou la diſpoſition de ſes parties internes. Non ſeulement cette qualité n'eſt pas parfaite, comme nous venons de le dire, mais on remarque preſque toujours qu'elle ſe perd, ou du moins s'affoiblit par un long uſage, ou par une compreſſion d'une trop longue durée. Un arc qui a été trop long-temps ou trop ſouvent tendu, garde enfin une portion de la courbure qu'on lui a fait prendre. Le crin, la laine ou la plume, ces ſubſtances élaſtiques dont nous garniſſons nos meubles, perdent par ſucceſſion de temps preſque tout leur reſſort; & ce n'eſt qu'en les remuant beaucoup ou les cardant de nouveau, que nous faiſons revivre en elles cette élaſticité qui nous eſt ſi précieuſe, & qui nous fournit tant de commodités. Il y a d'autres corps qui ne ſe rétabliſſent preſque point, dans leſquels les effets de l'élaſticité ſont preſque inſenſibles. Dans ces corps, quoiqu'ils aient réellement un peu d'élaſticité, on eſt dans l'uſage de la regarder comme nulle; & on appelle ces ſortes de corps, *corps mous*, *corps non-élaſtiques*, *corps ſans reſſort*, ce qui veut dire ſeulement, corps privés d'un reſſort aſſez actif pour

pour être compté pour quelque chose. Telle est, par exemple, la terre molle.

L'élasticité doit donc être regardée comme une propriété générale des corps, comme une propriété qui appartient à tous indistinctement, quoiqu'à un degré plus ou moins élevé ; car il n'y en a aucun, quelque mou qu'il soit, dans lequel, si l'on observe attentivement, on ne remarque au moins une petite portion de cette force. Nous n'en exceptons pas même les liqueurs ; car elles sont capables de transmettre les sons (1005) : or il n'y a que des corps élastiques qui puissent le faire.

34. Nous avons dit que les corps, en vertu de leur élasticité, reprennent l'état qu'ils avoient avant la compression ; mais ce n'est qu'après un plus ou moins grand nombre de balancemens, appelés *vibrations*, que cet état est entiérement repris ; & ces vibrations sont de telle nature, qu'elles sont toujours isochrones ou de même durée, soit qu'elles soient grandes, soit qu'elles soient petites, soit qu'elles aient une grande ou une petite amplitude. De plus, dans chacune de ces vibrations, la vîtesse du ressort s'accélere depuis le point de tension jusqu'au lieu de son repos, & retarde ensuite dans la même proportion en s'en éloignant : de sorte que le point où le ressort frappe le plus fort, est le lieu de son repos ; car c'est à ce point-là où il a la plus grande vîtesse acquise.

35. S'il y a des corps qui perdent quelquefois leur élaſticité, il y en a auſſi dans leſquels on peut l'augmenter par différens moyens employés dans les Arts. Les corps ſonores devant avoir un reſſort très-actif, on augmente l'élaſticité des métaux dont on fait les cloches, les timbres, &c. en les mêlant & les faiſant fondre avec d'autres métaux ou demi-métaux; ce que l'on appelle *alliage*; parce qu'on a remarqué qu'un pareil mélange eſt plus dur, plus roide & plus élaſtique que les métaux ſimples dont il eſt compoſé.

36. La plupart des métaux, même ſans être alliés, acquierent une plus grande élaſticité, prennent un reſſort plus actif, lorſqu'on les bat à froid; ce que les Ouvriers appellent *écrouir*. On augmente donc l'élaſticité des métaux par l'*écroui*.

EXPÉRIENCE. Si vous voulez en avoir la preuve, prenez, dans la même planche de cuivre, deux lames de ce métal, de mêmes dimenſions; battez l'une des deux à froid ſur un enclumeau. Enſuite eſſayez de les courber: ſi-tôt que vous les lâcherez, celle des deux qui aura été écrouie, reprendra ſon premier état, à très-peu de choſe près; & l'autre gardera preſque en entier la courbure que vous lui aurez donnée.

37. Mais de tous les corps dont on augmente artificiellement l'élaſticité, il n'en eſt point ſur lequel on produiſe un plus grand effet que ſur

l'acier : & parmi les différens procédés qu'on emploie pour cela sur ce métal, il n'en est point de plus efficace que la *trempe*, qui consiste à chauffer fortement l'acier, & à le refroidir subitement, en le plongeant dans une liqueur froide. L'acier prend par-là une dureté & une élasticité d'autant plus grandes, qu'on le chauffe davantage, & que la liqueur dans laquelle on le plonge, est plus froide. Mais si la trempe a produit un plus grand effet que celui dont on a besoin, on peut le modérer, & diminuer cette élasticité par le *recuit*, qui consiste à chauffer modérément l'acier, & à le laisser ensuite refroidir lentement à l'air.

Il faut savoir que l'acier n'est point un métal particulier ; c'est un fer préparé par la cémentation. Chaque Ouvrier a son cément particulier, dont il fait souvent un secret ; mais dans tous il entre des matieres charbonneuses. Ci-devant la plupart des Chimistes regardoient l'acier comme un fer plus pur que celui dont il avoit été formé ; ils étoient dans l'erreur. Il est bien prouvé aujourd'hui que l'acier est un fer combiné avec le carbone ou principe charbonneux, qui s'est uni au fer pendant la cémentation, & qui y est intimement mêlé. Aussi à la cassure du fer pur, on voit qu'il est composé de lames ; & la cassure de l'acier montre de petits grains, qui sont le produit du

mélange du fer extrêmement diviſé & du carbone. Lorſqu'on chauffe l'acier, l'action du feu (dont la propriété bien connue eſt de procurer l'union des matieres homogenes) fait ſortir de l'intérieur de ſes molécules une grande partie du principe charbonneux qui s'y trouve diſſéminé, ſans pour cela le faire ſortir de la maſſe totale. La trempe ſaiſit donc l'acier dans un moment où ſes principes, quoique les mêmes, ſont moins mêlés; ce qui fait que les molécules ſont compoſées de parties plus homogenes; & qu'en même temps ces molécules ſont moins liées enſemble. Ceci rend aſſez bien raiſon des différens phénomenes de la trempe.

1°. Le grain de l'acier paroît plus gros après la trempe qu'auparavant; parce que chaque molécule s'eſt formée d'un plus grand nombre de particules métalliques réunies.

2°. L'acier a un plus grand volume après la trempe; car alors ſa peſanteur ſpécifique eſt moindre. Cela vient de ce que la trempe fixe l'acier dans un état où le mélange de ſes principes eſt moins complet.

3°. L'acier eſt plus dur après la trempe; parce que chacune de ſes molécules étant plus groſſe, touche ſes voiſines par de plus grandes ſurfaces; il eſt donc plus difficile de l'en détacher; & de plus, les parties qui compoſent chaque molécule

étant plus homogenes, s'uniſſent plus aiſément & adherent plus fortement entre elles ; il eſt donc plus difficile d'entamer cette molécule.

4°. L'acier, quoique plus dur après la trempe, eſt cependant plus caſſant ; parce que la liaiſon des molécules entre elles & la ſomme des attouchemens ſont moindres.

5°. Le recuit rend l'acier moins caſſant ; parce qu'un refroidiſſement lent donne aux parties le temps de ſe mêler de nouveau, & augmente par-là la ſomme des attouchemens. Ce ſont ſans doute ces attouchemens immédiats qui ſont la cauſe de l'adhérence des particules entre elles, & en conſéquence de la dureté des corps.

38. Quoique nous ayons des procédés certains pour augmenter ou diminuer la force du reſſort de pluſieurs corps (35, 36, 37), nous n'en connoiſſons pas mieux en général la cauſe de l'élaſticité. Tout ce qu'on a imaginé juſqu'à préſent pour en rendre raiſon, n'eſt que conjectures mal fondées, & ſouvent démenties par l'expérience.

On a d'abord prétendu que c'étoit de l'air que dépendoit l'élaſticité des corps. On croyoit que l'air, s'inſinuant par les pores entre les parties des reſſorts tendus, les pouſſoit de maniere à leur faire reprendre leur premiere ſituation, & qu'ainſi il rendoit ces corps élaſtiques. Mais cela eſt démenti

par l'expérience ; puiſque l'élaſticité a lieu dans le vide de Boyle, comme en plein air.

On a donc eu recours à un autre fluide, beaucoup plus ſubtil que l'air groſſier, & on l'a ſuppoſé lui-même élaſtique. En conſéquence, voici comment on a raiſonné. Quand on courbe un reſſort, les pores de la partie qui devient convexe, s'élargiſſent, & ceux du côté qui devient concave, ſe rétréciſſent : les petites particules de ce fluide élaſtique, qui ſe trouvent dans ces derniers pores, ſont comme autant de petits ballons comprimés, qui, par leur élaſticité, tendent à ſe rétablir, & redreſſent ainſi le reſſort. Mais on ſuppoſe ici ce qui eſt en queſtion ; car il s'agit de l'élaſticité des corps en général ; & il reſtera toujours à ſavoir quelle eſt la cauſe de l'élaſticité de ce fluide. Seroit-ce encore un fluide plus ſubtil, qui ſeroit auſſi élaſtique ? Nous demanderons quelle eſt la cauſe de l'élaſticité de ce dernier ; & ainſi à l'infini.

Dire que les corps élaſtiques ſont tels, parce qu'ils ſont compoſés de petites parties, dont chacune eſt douée d'une force élaſtique ; c'eſt un cercle vicieux bien ridicule.

Enfin d'autres Phyſiciens attribuent l'élaſticité à la force répulſive qu'ont entre elles les particules des corps. Quand on comprime, diſent-ils, un corps élaſtique, ſes pores ſe rétréciſſent ; de ſorte qu'alors pluſieurs particules, qui étoient auparavant

à quelque distance l'une de l'autre, se rapprochent de la sphere de leur répulsion réciproque ; & cette répulsion devient d'autant plus forte que la compression augmente, c'est-à-dire que les parties se rapprochent davantage les unes des autres. C'est pourquoi, disent-ils, l'élasticité des métaux augmente quand on les écrouit : plus on les bat à froid, plus ils deviennent élastiques. De là vient encore, ajoutent-ils, que quand les pores d'un corps sont fort grands, ce corps peut souffrir compression sans recevoir beaucoup d'élasticité. N'est-ce pas encore là une supposition sans fondement ? Cette force répulsive n'est-elle pas diamétralement opposée à la force attractive ? On prétend que les particules des corps s'attirent d'autant plus puissamment, qu'elles se touchent de plus près ; & ici l'on dit qu'elles se repoussent d'autant plus vivement, qu'elles sont plus rapprochées les unes des autres. N'est-ce pas supposer des attractions & des répulsions selon le besoin qu'on en a, & tout-à-fait gratuitement ? Plutôt que de faire d'aussi mauvais raisonnemens, il vaut bien mieux avouer ingénument que nous ignorons quelle est la cause de l'élasticité des corps.

Dilatabilité.

39. La *Dilatabilité* est la propriété qu'ont les corps d'acquérir une augmentation de volume,

d'occuper un plus grand eſpace, par la force de leur reſſort, ſi-tôt qu'il ceſſe d'être retenu par des obſtacles. La plupart des Phyſiciens confondent la dilatation avec la raréfaction ; mais je penſe qu'il eſt à propos de les diſtinguer. Il eſt bien vrai que dans l'un & l'autre cas, les corps augmentent de volume ; mais la raréfaction eſt occaſionnée par la chaleur (22), & la dilatation l'eſt par la force élaſtique. Or il ne faut pas regarder comme le même, deux effets qui, quoique ſemblables en apparence, ſont cependant produits par deux cauſes ſi différentes.

Tout corps élaſtique (& nous venons de faire voir (33) qu'il n'y en a aucun qui ne le ſoit, peu ou beaucoup) qui eſt dans un état de contraction, ſi-tôt que la puiſſance qui le retient, ceſſe d'agir, ou qu'elle agit moins fortement, s'étend, augmente de volume, en un mot, ſe *dilate*. L'air ſur-tout, ainſi que tous les fluides aériformes, a cette propriété dans un degré éminent ; de ſorte que la plus petite portion d'air renfermée dans un vaſe, le remplit toujours, quelque grand qu'il ſoit ; & ſi on le tient comprimé, il fait toujours, pour ſe dilater, un effort égal à la force qui le comprime (911). C'eſt pourquoi les corps, en ſe dilatant par l'effet de leur reſſort, ont beaucoup plus de force au commencement qu'à la fin de leur dilatation ; parce que dans ce premier inſtant ils

ſont beaucoup plus comprimés : & plus la compreſſion eſt grande, plus la force élaſtique & l'effort pour ſe dilater ſont conſidérables ; en ſorte que ces deux choſes, ſavoir, la force comprimante & la force élaſtique, ſont toujours égales.

Mobilité.

40. La *Mobilité* eſt la faculté qu'ont tous les corps de pouvoir être mis en mouvement. Il n'y a point de corps qui ne puiſſe être mis en mouvement par une force ſuffiſante : la mobilité eſt donc une propriété générale des corps, & qui appartient à tous indiſtinctement ; mais elle n'appartient pas à tous au même degré. Elle eſt fondée ſur certaines diſpoſitions, qui ne ſe trouvent pas également dans tous les corps ; c'eſt ce qui fait que les uns ſont plus mobiles que les autres ; c'eſt-à-dire qu'il faut employer moins de force pour les faire paſſer de l'état de repos à celui de mouvement. Les principales de ces diſpoſitions ſont la figure du corps, le poli de ſa ſurface, & ſa maſſe ou la quantité de matiere contenue ſous ſon volume.

Suppoſons deux corps de même ſubſtance, dont les maſſes ou les poids ſoient égaux, les ſurfaces également bien polies, & poſés tous deux ſur le même plan ; mais que l'un des deux ait une forme ronde, & l'autre une figure cubique. L'expérience

fait voir que la même impulsion porte le premier plus loin que le second, & que ce premier conserve ce mouvement plus long-temps que ne le fait l'autre. Puisque ces deux corps ne different qu'en figure, donc la figure contribue à la mobilité.

Supposons encore deux corps de même substance, de masses égales & de même figure, posés encore tous deux sur le même plan; mais imaginons que la surface de l'un est raboteuse, & que celle de l'autre est bien polie. Cette différence, qui est la seule qui soit entre ces deux corps, suffit pour que la même impulsion porte le dernier plus loin que le premier. Le poli de la surface contribue donc à la mobilité.

Supposons en troisieme lieu deux corps parfaitement semblables par leur volume, par leur figure & par le poli de leur surface, mais différens par leur masse; par exemple, deux boules de même diametre, l'une de bois, & l'autre de plomb. Il est évident que la même impulsion n'enverra pas si loin la derniere que la premiere. Le moins de masse dans l'une des deux la rend donc plus propre à être mise en mouvement; le plus ou le moins de masse contribue donc à la mobilité: un corps qui a moins de masse qu'un autre, oppose donc une moindre résistance à l'effort qui tend à le faire changer d'état.

Inertie.

41. L'*Inertie* des corps eſt la réſiſtance dont nous venons de parler ; c'eſt la force par laquelle tout corps réſiſte à toute variation d'état ; c'eſt-à-dire, par laquelle, lorſqu'il eſt en repos, il réſiſte au mouvement ; lorſqu'il eſt en mouvement, il réſiſte au repos, ou à un mouvement plus prompt ou plus lent. L'inertie eſt donc une force qui réſide dans tous les corps, qui y eſt inhérente, en quelque état qu'ils ſe trouvent. Mais elle n'eſt pas dans tous au même degré ; car, ainſi que la peſanteur, elle eſt toujours proportionnelle à la maſſe ou à la quantité de matiere propre de chaque corps ; c'eſt-à-dire qu'un corps qui a une maſſe double ou triple de celle d'un autre corps, a une force d'inertie double ou triple de celle de l'autre corps ; & par cette force, réſiſte doublement ou triplement à l'effort qui tend à la vaincre.

42. Il y a des Auteurs qui ont confondu la force d'inertie avec la peſanteur ; cependant, quoique ces deux forces aient de commun d'être proportionnelles à la maſſe ou à la quantité de matiere propre de chaque corps, elles ſont pourtant eſſentiellement diſtinctes l'une de l'autre. La peſanteur n'exerce ſon action que dans un ſens, de haut en bas : toutes les fois qu'un corps tombe librement, il tombe perpendiculairement à l'horizon. Mais la

force d'inertie réſiſte dans quelque ſens qu'on faſſe effort pour changer l'état d'un corps.

43. Tout corps, conſidéré préciſément comme corps, eſt eſſentiellement indifférent au repos ou au mouvement, à un mouvement plus prompt ou plus lent. L'effet néceſſaire de cette indifférence eſt de faire perſévérer le corps dans l'état où il ſe trouve. En effet, ſi un corps eſt en repos, il ne ſe met point en mouvement, s'il n'y a une force poſitive qui l'y oblige. S'il eſt en mouvement, il n'eſt point réduit au repos ſans un obſtacle qui l'arrête; il ne ſe meut point plus promptement ou plus lentement, ſans une cauſe qui ajoute ou qui retranche au mouvement qu'il a déjà. Il y a donc une force réſidente dans les corps, par laquelle ils tendent à perſévérer dans l'état où ils ſont: c'eſt cette force qu'on appelle *force d'inertie*; & c'eſt par elle qu'ils réſiſtent à tout changement d'état.

Fig. 2. Suppoſons un corps A (*fig.* 2) d'une grandeur & d'un poids déterminés; par exemple, une boule de plomb peſant une livre, ſuſpendue librement dans un air tranquille, par un fil fort long CA; & une autre boule de plomb B, de même poids, pareillement ſuſpendue par un fil CB. L'expérience prouve, comme nous le ferons voir en parlant du mouvement d'oſcillation (258), que ſi l'un de ces corps, A, par exemple, eſt

élevé à 4 degrés de la ligne verticale CB, & qu'on l'abandonne à lui-même, s'il ne rencontre en chemin aucun obstacle, lorsqu'il sera parvenu au point le plus bas B, il aura acquis, par sa chûte, une vîtesse qui le portera à 4 degrés du côté opposé. Mais si le corps A rencontre au point le plus bas le corps B, qui l'égale en masse, & qu'il le heurte, l'expérience prouve encore que ces deux corps ne remontent ensemble qu'à 2 degrés. Le corps B reçoit une portion du mouvement du corps A; & ce dernier perd par le choc ce que l'autre paroît avoir acquis. Le corps B oppose donc une résistance au corps A; car sans elle ce dernier seroit remonté à 4 degrés. Un corps en repos fait donc une résistance réelle à l'effort qui tend à le mouvoir. De plus, si le corps B, au lieu de ne peser qu'une livre, en pesoit 8 ou 10, il seroit moins déplacé par le choc du corps A, & cela proportionnellement à l'augmentation de sa masse; donc un corps en repos oppose à l'effort qui tend à le mouvoir, une résistance proportionnelle à sa masse. C'est cette résistance qu'on appelle *force d'inertie*.

44. On fait à ce raisonnement des objections auxquelles il faut répondre. On prétend que c'est la résistance de l'air qui est la cause de celle du corps B. Le corps B, dit-on, en repos, ne résiste à l'effort du corps A, que parce qu'il est appuyé

par l'air qui l'environne, & qu'il faut déplacer. On peut répondre à cela, 1°. que les corps qui ſont ainſi choqués dans le vide d'air, réſiſtent de même que dans l'air, ou, s'il y a des différences, elles ne ſont pas ſenſibles : ce n'eſt donc pas de l'air que vient cette réſiſtance ; 2°. que la réſiſtance de l'air fait elle-même partie de la queſtion préſente ; car il s'agit ici de la force d'inertie des corps en général. Si donc l'on convient que l'air, en qualité de matiere, fait réſiſtance au mouvement des corps qui tendent à le déplacer (& l'on ne peut pas en diſconvenir), il eſt prouvé que l'air a une force d'inertie. Si l'air, en qualité de matiere, a une pareille force, pourquoi les autres matieres n'en auroient-elles pas ? 3°. Si la réſiſtance que fait le corps B, en repos, à l'effort du corps A, venoit uniquement de celle de l'air ſur lequel il s'appuie, il faudroit, pour rendre cette réſiſtance double, faire répondre le corps B à un volume d'air une fois plus grand, & par conſéquent doubler ſa ſurface antérieure. Or l'expérience prouve que, pour rendre double la réſiſtance du corps B, il ſuffit de doubler ſon poids ; ce qui, ſur-tout dans les corps ſphériques, ne double pas la ſurface, à beaucoup près. Il eſt donc évident que la réſiſtance de la boule B ne vient point de celle de l'air.

45. On objecte encore que la force d'inertie

eſt la même choſe que la peſanteur, en diſant que c'eſt la peſanteur de la boule B qui s'oppoſe à ſon déplacement; car, dit-on, ſi elle n'eſt retenue par aucun obſtacle, elle tiendra le fil auquel elle eſt ſuſpendue, auſſi tendu qu'il peut l'être, & dans la ſituation verticale CB, & ſe placera au point le plus bas. On ne peut donc l'en faire ſortir ſans qu'elle ſoit plus élevée; ſi on la porte en 2, elle eſt plus élevée de la quantité BF; en 4, de la quantité BE, &c. Pour cela, il faut vaincre ſa peſanteur, qui fait effort pour la retenir au point B : on conclut de là que ce que l'on appelle *force d'inertie*, eſt la même choſe que la peſanteur. Il faut avouer que cette objection eſt ſpécieuſe; cependant elle tombera d'elle-même, ſi l'on fait attention que, lorſque la boule eſt au point le plus bas B, ſa peſanteur eſt réduite à zéro, parce qu'elle eſt totalement vaincue par le fil CB qui la tient ſuſpendue : l'effort de ſa peſanteur ne peut donc commencer à ſe faire ſentir, que lorſqu'elle eſt paſſée du point le plus bas à un point plus élevé; ſon déplacement doit donc précéder l'effort de ſa peſanteur. Mais pour opérer ce déplacement, il faut employer une force réelle, qui, ſi elle eſt trop petite pour déplacer la boule, n'en eſt pas moins une force réelle, & cependant n'a point d'effet. Dansce cas-là, la boule B réſiſte donc à une force réelle, & la détruit avant de

pouvoir agir comme pesante ; elle résiste donc par une force indépendante de sa pesanteur ; & c'est cette force qu'on appelle *force d'inertie.*

Voici de plus un raisonnement qui ne permet pas de confondre les effets de l'inertie avec ceux de la pesanteur. Supposons deux corps en tout semblables, de même matiere, de même figure, de même volume & de même poids, qui commencent à tomber librement dans le vide, de la même hauteur, & tous deux dans le même instant. Il est indubitable que ces deux corps obéiront complétement à leur pesanteur ; qu'ils descendront tous deux avec la même vîtesse, & avec toute la vîtesse qu'exige leur pesanteur ; & qu'ils arriveront tous deux ensemble sur le plan qui termine leur chûte. Si l'on veut que l'un des deux précede l'autre dans sa chûte, il faut, à l'effort de sa pesanteur, ajouter une autre force ; il faut lui donner une nouvelle impulsion, qu'il ne peut pas recevoir de sa pesanteur, puisque nous supposons qu'il lui obéit complétement. Or tout ce qui exige une force pour être produit, est une véritable résistance. Ce corps qui, en tombant librement, obéit complétement à sa pesanteur, résiste donc à un mouvement plus prompt que celui qui lui vient de sa pesanteur : il y résiste donc par une force indépendante de sa pesanteur. C'est cette force qu'on appelle *force d'inertie.*

CHAPITRE

CHAPITRE II.

Du Mouvement & de ſes Loix.

46. LE *Mouvement* eſt l'état d'un corps qui eſt actuellement tranſporté d'un lieu dans un autre, ſoit en totalité, ſoit eu égard ſeulement à ſes parties. Un corps peut être en mouvement de deux façons; ou en totalité, comme un carroſſe tiré par des chevaux, ou un bateau que le courant de la riviere emmene; l'un & l'autre changent continuellement de place & de rapports avec les objets qui les avoiſinent; ou ſeulement eu égard à ſes parties, comme les ailes d'un moulin qui tournent dans le même lieu; car chacune de leurs parties paſſe ſucceſſivement par tous les points de la circonférence du cercle qu'elle décrit. Un corps ſe meut donc toutes les fois qu'il change de rapport ou de ſituation reſpectivement aux objets qui l'environnent, ſoit de près, ſoit de loin. Par exemple, un homme aſſis dans un carroſſe qui chemine, change continuellement de rapports, ſinon avec la caiſſe du carroſſe ou les perſonnes qui l'accompagnent, du moins à l'égard des différens lieux qu'il parcourt. Ainſi, quoiqu'il ſoit fort tranquille, on ne peut pas dire qu'il ſoit en repos.

47. Il y a plusieurs sortes de mouvemens ; savoir, le *Mouvement absolu* & le *Mouvement relatif* ; le *Mouvement simple* & le *Mouvement composé* ; le *Mouvement rectiligne* & le *Mouvement curviligne* ; le *Mouvement réfléchi* & le *Mouvement réfracté*. Avant de parler de ces différentes especes de mouvemens, il faut prendre quelques notions préliminaires & générales pour toutes.

48. Il y a plusieurs choses à considérer dans un corps qui se meut ; savoir, 1°. la force motrice qui imprime le mouvement à ce corps. 2°. La masse de ce corps par laquelle il résiste à la force qui tend à le faire sortir de son état. 3°. La direction que prend ce corps dans son mouvement, soit qu'il soit simple, soit qu'il soit composé. 4°. L'espace que ce corps parcourt. 5°. Le temps que ce corps emploie à parcourir cet espace. 6°. La vîtesse du mouvement de ce corps, c'est-à-dire, le rapport de l'espace que ce corps parcourt, & du temps qu'il emploie à le parcourir. 7°. La quantité du mouvement de ce corps.

1. *Force motrice.*

49. 1°. Tous les corps, par leur inertie, résistent à toute variation d'état (41). Un corps qui est en repos, ne se mettra donc jamais en mouvement, s'il n'y a une cause suffisante qui lui imprime ce mouvement. Cette cause active qui imprime, ou

qui du moins tend à imprimer le mouvement au corps, est ce qu'on appelle la *force motrice*. Il n'y a donc point de mouvement sans force motrice suffisante pour l'imprimer. On appelle *force motrice*, celle d'un ou de plusieurs corps employée pour en mouvoir d'autres. Telle est une impulsion donnée à un corps pour le faire avancer dans une direction quelconque.

Jusqu'à *Leibnitz*, on avoit toujours pensé que cette force, en toutes sortes de cas indistinctement, devoit être évaluée par le produit de la masse du moteur, multipliée par sa vîtesse. Mais *Leibnitz* a le premier établi une distinction entre la force motrice qui agit contre un obstacle invincible, & celle qui agit contre un obstacle qui cede. Il appelle la premiere *force morte*, & convient, avec tous les Physiciens, qu'elle doit être évaluée en multipliant la masse par la simple vîtesse. Il appelle la derniere *force vive*, & il prétend que, pour l'estimer selon sa juste valeur, il faut multiplier la masse, non pas par la vîtesse simple, mais par le quarré de la vîtesse; c'est-à-dire que si la vîtesse est 3, par exemple, il ne faut pas multiplier la masse seulement par 3, mais par 9, qui est le quarré de 3. *Leibnitz* a rapporté, en faveur de son opinion, des raisonnemens & des expériences spécieuses; & il a trouvé des défenseurs parmi des Physiciens très-éclairés : malgré cela,

le grand nombre a regardé ſon opinion comme un paradoxe. Nous allons examiner cette queſtion, en parlant de ces deux forces.

Force morte.

50. La *force morte* eſt donc celle qui agit contre un obſtacle invincible, qui conſiſte par conſéquent dans une ſimple tendance au mouvement, & qui ne produit aucun effet ſur l'obſtacle ſur lequel elle agit. Telle eſt, par exemple, la force d'un corps peſant qui tend à deſcendre, mais qui eſt poſé ſur une table ou ſuſpendu à une corde. Ce corps ne ſçauroit deſcendre, parce que la réſiſtance de la table ou de la corde l'en empêche. Cependant il preſſe la table où tend la corde, & il montre par-là ſa tendance au mouvement, qui ne peut avoir d'effet tant que ces obſtacles invincibles s'y oppoſent. Cette preſſion du corps peſant eſt donc ſans effet dans ces deux cas; ou plutôt les effets qu'elle produit, c'eſt-à-dire, la tenſion de la corde & la preſſion de la table ſont des effets qui n'épuiſent point la cauſe preſſante. Ainſi cette cauſe preſſante ne perd rien de ſa force, parce qu'elle ne la déploie point; mais elle tend ſeulement à la déployer. Lors donc que les obſtacles ſont invincibles, l'action de la force qui tend à les déplacer, eſt à tout moment détruite par ces obſtacles, & à tout moment reproduite par

l'effort continuel que fait la force preſſante pour vaincre cette réſiſtance. Ainſi les petits degrés que la force preſſante imprime à l'obſtacle qui retient ſon action, périſſent en naiſſant, & naiſſent en périſſant : & c'eſt dans ce retour de production & de deſtruction que conſiſte l'effet de la peſanteur d'un corps, lorſqu'il eſt retenu par un obſtacle invincible. C'eſt cette preſſion, auſſi-tôt détruite que produite, c'eſt cette force que la cauſe preſſante tend à déployer ſans ſuccès, qu'on appelle *force morte*. La force morte d'un corps s'eſtime ou s'évalue, comme nous l'avons dit ci-deſſus (49), par le produit de ſa maſſe multipliée par ſa vîteſſe initiale, c'eſt-à-dire, par la vîteſſe qu'il auroit dans le premier inſtant, ſi l'obſtacle qui le retient, venoit à céder.

Force vive.

51. La *force vive* eſt celle d'un corps actuellement en mouvement, qui agit contre un obſtacle qui cede, & qui produit un effet ſur lui. Telle eſt la force d'un corps qui en va heurter un autre avec une vîteſſe déterminée, & qui, en conſéquence de ſon choc, le lance à une certaine diſtance. Cette force, comme nous l'avons dit ci-deſſus (49), s'étoit toujours évaluée, ainſi que la force morte, par le produit de la maſſe multipliée par la vîteſſe ſimple ; mais *Leibnitz* a cru

qu'il falloit l'eſtimer par le produit de la maſſe multipliée par le quarré de la vîteſſe. Quelque oppoſée que fût cette opinion aux principes connus & adoptés de tout temps, elle a cependant trouvé des défenſeurs. Cela a formé un procès littéraire, dont les pieces pour & contre ſe trouvent conſignées en pluſieurs Ouvrages, & ſur-tout dans le XXIe. & dernier Chapitre d'un Ouvrage *in*-8°. intitulé : *Inſtitutions de Phyſique*, qui eſt de Madame la *Marquiſe du Châtelet*, où elle a raſſemblé tout ce qu'on peut dire en faveur des forces vives ; & dans un autre Ouvrage *in*-12. intitulé : *Diſſertation ſur l'Eſtimation & la Meſure des Forces motrices des corps*, par M. *de Mairan*, dans lequel il a fortement combattu l'opinion de *Leibnitz*. Les expériences apportées en preuve par l'un & l'autre parti, ſont avouées de tout le monde ; ainſi il n'y a de différent que relativement aux conſéquences que chacun en tire.

En faveur des forces vives, on ſuppoſe, par exemple, deux boules A & B de même matiere, de même maſſe & de même volume, qu'on laiſſe tomber librement de hauteurs convenables ; l'une A pendant une ſeconde, & l'autre B pendant 2 ſecondes, 1°. ſur de la terre molle. Il eſt certain que la boule B fait dans cette terre molle un enfoncement quadruple de celui de la boule A ;

& que B déplace quatre fois autant de matiere qu'en déplace A. 2°. On suppose que ces boules tombent des mêmes hauteurs & pendant les mêmes temps que ci-dessus sur un plan parfaitement élastique. Dans ce cas, en faisant abstraction de la résistance du milieu, ces deux boules remontent, en vertu de la réaction, laquelle est égale à la compression (112), chacune pendant un temps égal à celui pendant lequel elle est descendue: savoir, A pendant une seconde, & B pendant 2 secondes; mais B remonte à une hauteur quadruple de celle à laquelle remonte A. On dit que, dans ce cas-là, B ne reçoit que 2 degrés de vîtesse, pendant que A en reçoit 1; & cependant les effets que produit B, sont quadruples de ceux que produit A: B déplace quatre fois autant de terre qu'en déplace A; donc son impulsion sur la terre molle est quadruple de celle de A: B, en vertu de la réaction, remonte à une hauteur quadruple de celle à laquelle remonte A; donc sa compression sur le plan est quadruple de celle de A. D'où l'on conclut que les forces vives sont comme les quarrés des vîtesses, & non pas comme les simples vîtesses: & que, pour avoir leur juste valeur, il faut les estimer par le produit de la masse multipliée par le quarré de la vîtesse, & non pas par la vîtesse simple.

On a répondu à cela, que, pour comparer avec

exactitude les forces de deux corps, il faut que les circonstances soient égales de part & d'autre, & avoir une mesure commune, qui est le temps pendant lequel chaque mobile agit. Or la boule B, qui, avec une vîtesse double, produit un effet quadruple, ne le produit que dans un temps double; d'où l'on doit conclure que sa force n'est que double en temps égal, c'est-à-dire, en raison de la vîtesse simple, & non pas du quarré de la vîtesse. En effet, supposons que deux hommes, *Jacques* & *Jean*, sont en marche; que *Jacques* fait 1 lieu dans 1 heure, & que *Jean* fait 4 lieues dans 2 heures. Il est évident que l'effet produit par la force de *Jean* est quadruple de l'effet produit par la force de *Jacques*. Cependant on ne conclura pas de là que la force de *Jean* est quadruple de celle de *Jacques* : pour que cela fût, il faudroit que *Jean* parcourût 4 lieues dans le même temps que *Jacques* emploie à en parcourir 1 : ce qui n'est pas; il y emploie un temps double. *Jean*, dans un temps égal, ne produit donc qu'un effet double de celui de *Jacques*, c'est-à-dire, en raison de sa vîtesse simple : & son effet total n'est quadruple, que parce qu'avec une vîtesse double, il marche pendant un temps double. Ainsi l'effet que produit *Jean* est quadruple de celui que produit *Jacques*, non pas parce que 4 est le quarré de 2, mais parce que 2 fois 2 font 4. Aussi,

quoique les sentimens soient partagés sur la maniere d'évaluer les forces des corps en mouvement, ou ce qu'on a appelé les *forces vives*, on est parfaitement d'accord sur le produit de ces forces & sur les effets qui en doivent résulter. Tout le monde convient, avec les défenseurs des forces vives, que les effets sont quadruples de la part d'un corps qui se meut avec 2 degrés de vîtesse par comparaison à celui qui n'en a que 1 ; mais, comme nous venons de le dire, ce n'est pas parce que 4 est le quarré de 2, c'est seulement parce que le mobile, qui a 2 degrés de vîtesse, fait un effort qui est répété 2 fois autant que celui d'un mobile qui se meut avec un seul degré de vîtesse. Si donc on fait entrer en ligne de compte la considération des temps, on peut, sans erreur, estimer indistinctement, dans la pratique, la force des corps par le produit de la masse multipliée par la simple vîtesse actuelle, s'ils se meuvent réellement ; & s'ils sont retenus par des obstacles invincibles, par leur tendance au mouvement, qui est comme leur masse & leur vîtesse initiale, c'est-à-dire, celle avec laquelle ils commenceroient à se mouvoir, si l'obstacle venoit à céder. On peut aussi communément évaluer la force des corps en mouvement par le produit de la masse multipliée par le quarré de la vîtesse ; l'opération est plus courte. Je dis *communément*, parce que cette

maniere d'évaluer les forces n'eſt pas applicable dans tous les cas, comme, par exemple, dans ceux où les corps vont ſe heurter par des mouvemens en ſens contraires, ainſi que le prouve M. *de Mairan*, par une expérience qu'il rapporte contre les forces vives, & dont le réſultat eſt reconnu & avoué des deux partis : ce qui prouve bien le défaut de l'opinion de *Leibnitz*.

Cette expérience eſt celle de deux corps mous, ou à reſſort, qui viennent ſe choquer par des mouvemens en ſens contraires, & avec des vîteſſes qui ſont entre elles en raiſon inverſe de leurs maſſes; car on ſait qu'il en réſulte le repos, ſi les corps ſont mous & ſans reſſort (145); & un retour en arriere après le choc, avec les mêmes vîteſſes qu'avant le choc, ſi les corps ont un reſſort parfait (153); ce qui prouve qu'ils ſe choquent avec des forces égales. Cela n'arriveroit pas ainſi, ſi les forces étoient comme les quarrés des vîteſſes : le corps, par exemple, qui auroit 6 de vîteſſe avec 2 de maſſe, & par conſéquent 72 de force, devroit néceſſairement emporter celui qui, avec 6 de maſſe, n'auroit que 2 de vîteſſe, & par-là ſeulement 24 de force.

On a répondu à cela, que ce triple de force qu'a le corps qui ſe meut avec 6 de vîteſſe, eſt conſumé par les enfoncemens & les déplacemens de matiere qu'il fait ſur celui qui n'a que 2 de vîteſſe.

Mais, dit M. *de Mairan*, quel eſt le point d'appui des efforts néceſſaires pour produire ces enfoncemens & cette introceſſion de matiere? Qu'eſt-ce qui les ſoutient par une réaction égale à l'action? N'eſt-ce pas le centre de gravité de la maſſe triple, qui n'a que 2 de vîteſſe? Cette maſſe elle-même ne conſume-t-elle pas autant de ſa force à ſoutenir les efforts de ces déplacemens, que le corps choquant perd de la ſienne à les produire; & ce qu'elle en conſume, ne la diſpoſe-t-il pas d'autant à céder? Il n'y a donc point d'efforts perdus à cet égard, ou plutôt ceux qui ſont perdus d'une part, ſont communiqués de l'autre par un échange réciproque. Ainſi la maſſe inférieure en force devroit être entraînée.

Ceci devient encore plus évident dans le cas des corps à reſſort; car les enfoncemens & les applatiſſemens qu'ils ſouffrent mutuellement dans le choc, ſont, en vertu du rétabliſſement qui leur ſuccede, la ſource même de la force néceſſaire pour retourner en arriere avec les mêmes vîteſſes après le choc qu'ils avoient avant le choc. Donc, ſi les forces étoient comme les quarrés des vîteſſes, celui qui n'avoit que 2 de vîteſſe & 6 de maſſe, ſeroit repouſſé en arriere par le choc de celui qui avoit 2 de maſſe & 6 de vîteſſe, avec plus de force ou de vîteſſe qu'il n'en avoit avant le choc; ce qui eſt contraire à l'expérience.

On pourra donc évaluer les forces motrices en multipliant les masses, ou par la vîtesse simple, en y ajoutant la considération des temps, ou par le quarré de la vîtesse; hors les cas où les corps vont se choquer par des mouvemens en sens contraires.

2. *Masse des corps.*

52. 2°. Les corps résistent également au mouvement & au repos par leur force d'inertie (41): cette force est proportionnelle à leur *masse*, ou à la quantité de matiere qu'ils contiennent, puisqu'elle appartient à chaque partie de la matiere. Un corps résiste donc d'autant plus au mouvement qu'on tend à lui imprimer, qu'il a plus de masse, toutes choses d'ailleurs égales. Ainsi, plus un corps a de masse, moins il acquiert de vîtesse par la même impulsion : les vîtesses des corps qui éprouvent des impulsions égales, sont donc en raison inverse de leurs masses.

3. *Direction des Mouvemens.*

53. 3°. Il n'y a point de mouvement sans une détermination particuliere : ainsi tout corps qui se meut, tend vers quelque point; & c'est cette tendance qu'on appelle *direction*. Si ce corps n'obéit qu'à une seule force, ou à plusieurs semblablement dirigées, il se meut d'un mouvement simple, &

il ne tend qu'à un seul point. Si plusieurs puissances, différemment dirigées, le commandent en même temps, il tend à plusieurs points; mais comme il ne peut pas aller vers plusieurs points tout-à-la-fois, son mouvement se compose : il prend une direction moyenne entre celles des puissances auxquelles il obéit (160) : alors il se comporte comme un corps qui se meut d'un mouvement simple; il ne tend plus qu'à un seul point. La ligne tirée de ce corps au point vers lequel il tend, soit qu'il se meuve d'un mouvement simple, soit qu'il se meuve d'un mouvement composé, représente la direction du mouvement de ce corps; & s'il se meut, il parcourra certainement cette ligne, à moins que son mouvement ne soit composé de puissances dont les rapports changent (168); auquel cas, il parcourra une ligne courbe, laquelle est cependant elle-même composée de lignes droites, infiniment courtes & insensiblement inclinées entre elles, & formant ensemble des angles fort obtus.

4. *Espace parcouru.*

54. 4°. L'*espace* que parcourt un corps, est la ligne décrite par ce corps pendant son mouvement. Si le corps qui se meut étoit un point, l'espace parcouru ne feroit qu'une ligne mathématique; mais comme il n'y a point de corps qui ne soit

étendu (6), l'espace parcouru a toujours quelque largeur ; malgré cela, quand on mesure cet espace parcouru par un corps, on ne fait attention qu'à sa longueur, qui peut être plus ou moins grande.

5. *Temps employé.*

55. 5°. Un corps emploie nécessairement un *temps* quelconque à parcourir un espace. Si le corps A (*fig.* 3) parcourt l'espace AB, il s'écoulera une portion de temps pendant qu'il ira de A en B, quelque petit que l'espace AB puisse être ; car le moment où ce corps sera en A, ne sera pas celui où il sera en B, un corps ne pouvant être en deux lieux à la fois. Ainsi tout espace parcouru l'est en un temps quelconque, qui peut être plus ou moins long.

Fig. 3.

6. *Vîtesse.*

56. 6°. La *vîtesse* d'un corps qui se meut, est la faculté qu'il a de parcourir un certain espace en un certain temps. Plus cet espace est grand, & ce temps court, plus la vîtesse est considérable. La vîtesse d'un corps est donc le rapport qu'il y a entre l'espace qu'il parcourt, & le temps qu'il emploie à le parcourir. Il n'y a donc point de mouvement sans une vîtesse quelconque. Pour connoître cette vîtesse, il ne s'agit que de diviser l'espace par le temps ; de même qu'on connoîtra

l'espace, en multipliant la vîtesse par le temps. Par exemple, un corps parcourt 1000 toises en 10 minutes; sa vîtesse est de 100 toises par minute, parce que 100 est le quotient de 1000, divisé par 10. Si l'on compare les vîtesses de deux corps, on en aura le rapport en suivant la même regle. Supposons, par exemple, qu'un corps A parcoure 54 toises en 9 minutes, & qu'un corps B en parcoure 96 en 6 minutes; la vîtesse du corps A est à celle du corps B comme 6, quotient de 54 divisés par 9, est à 16, quotient de 96 divisés par 6.

Il suit de là, que deux corps qui parcourent des espaces inégaux en temps inégaux, ont leurs vîtesses comme les espaces parcourus, divisés par les temps employés à les parcourir, comme dans l'exemple ci-dessus. Si ces deux corps parcourent des espaces inégaux en temps égaux, leurs vîtesses sont entre elles en raison directe des espaces parcourus: si le corps A, par exemple, parcourt 200 toises en 2 minutes, & que le corps B ne parcoure que 100 toises dans le même temps, leurs vîtesses sont entre elles comme 200 est à 100, ou comme 2 est à 1. Mais si ces deux corps parcourent des espaces égaux en temps inégaux, leurs vîtesses sont entre elles en raison inverse des temps employés à les parcourir: si les deux corps A & B parcourent 200 toises, savoir, A en 1 minute, &

B en 2 minutes, la vîteſſe de A eſt à celle de B, comme 2 eſt à 1, en raiſon inverſe des temps.

La vîteſſe d'un corps qui ſe meut, peut être ou uniforme, ou accélérée, ou retardée.

57. La vîteſſe de ce corps eſt *uniforme*, s'il parcourt des eſpaces égaux en temps égaux. Suppoſons, par exemple, un corps qui parcourt une toiſe dans une ſeconde; une autre toiſe dans la ſeconde ſuivante; encore une toiſe dans la troiſieme ſeconde, & ainſi de ſuite; de façon que les temps & les eſpaces parcourus en chaque temps, ſoient toujours égaux entre eux : ce corps a une vîteſſe uniforme. On conçoit aiſément que cette uniformité de vîteſſe eſt poſſible; mais elle eſt très-rare dans l'état naturel, à cauſe des obſtacles inévitables, qui apportent à chaque inſtant quelque changement aux mouvemens des corps (76 & 96).

58. La vîteſſe d'un corps eſt *accélérée*, ſi, pendant des temps égaux & ſucceſſifs, il parcourt des eſpaces qui vont toujours en augmentant de plus en plus; ou s'il parcourt des eſpaces tous égaux entre eux, mais dans des temps qui décroiſſent de plus en plus. Telle eſt la vîteſſe d'un corps qui tombe librement, & qui va plus vîte vers la fin de ſa chûte qu'au commencement (214).

59. La vîteſſe d'un corps eſt *retardée*, ſi, dans des temps égaux & ſucceſſifs, il parcourt des eſpaces

espaces qui vont toujours en décroissant de plus en plus ; ou s'il parcourt des espaces tous égaux entre eux, mais dans des temps qui augmentent de plus en plus. Telle est, par exemple, la vîtesse d'une boule qui roule sur le terrein, & qui se ralentit peu à peu, jusqu'à ce que la boule soit réduite au repos.

On distingue encore la vîtesse des corps en vîtesse absolue, vîtesse relative, & vîtesse respective.

60. La vîtesse *absolue* est celle d'un corps considérée en elle-même, & sans aucun rapport avec la vîtesse d'un autre corps : comme lorsqu'on considere la vîtesse d'un cheval qui fait 4 lieues en 2 heures de temps. Sa vîtesse est de deux lieues par heure. La vîtesse propre ou absolue d'un corps est donc le rapport de l'espace qu'il parcourt, & du temps qu'il emploie à le parcourir.

61. La vîtesse *relative* est celle d'un corps comparée avec celle d'un autre corps : comme lorsqu'on compare les vîtesses de deux chevaux, qui parcourent le même nombre de lieues, mais dont l'un met plus de temps que n'en met l'autre à parcourir cet espace. Leurs vîtesses sont entre elles en raison inverse de temps employés (56). Ainsi, si l'un y employoit 1 heure & l'autre 2 heures, la vîtesse du premier seroit à celle du second, comme 2 est à 1. Si ces deux chevaux

marchoient pendant le même temps, mais que l'un des deux fît plus de chemin que l'autre, leurs vîteſſes ſeroient alors en raiſon directe des eſpaces parcourus (56). Ainſi ; ſi l'un parcouroit un eſpace double de celui que l'autre parcourt, ſa vîteſſe ſeroit double de celle de l'autre.

62. La vîteſſe *reſpective* eſt celle avec laquelle l'eſpace qui ſépare deux corps eſt parcouru, ou par l'un des deux entiérement, ou en partie par l'un & en partie par l'autre ; c'eſt-à-dire, ſoit que l'un des deux corps reſte en repos, tandis que l'autre parcourt l'eſpace entier ; ſoit qu'ils ſe meuvent tous deux, dans le même ſens ou en ſens contraires, avec des vîteſſes égales ou inégales. De
Fig. 4. ſorte que, ſi deux corps A & B (*fig.* 4), diſtans de 4 pieds, ſe joignent en 1 ſeconde, la vîteſſe reſpective de ces deux corps eſt toujours la même, ſoit que A ſeul parcoure l'eſpace entier, ſoit que, B venant à lui, il le rencontre, par exemple, en 3 ; ſoit que, B allant dans le même ſens que A, B parcoure, par exemple, 3 pieds pendant que A en parcourt 7, &c. pourvu que, dans tous les cas, les deux corps ſe joignent en 1 ſeconde exactement. Ce qui fait voir clairement qu'il ne faut pas confondre la vîteſſe reſpective avec la vîteſſe abſolue ou propre de chaque corps (60) ; car, dans le premier cas ſeulement, la vîteſſe abſolue de A eſt la même que la vîteſſe reſpective, c'eſt-à-dire, de

4 pieds par seconde ; & la vîtesse absolue de B est zéro. Mais dans le second cas, la vîtesse absolue de A est de 3 pieds ; celle de B, de 1 pied ; & la vîtesse respective, de 4 pieds par seconde. Dans le troisieme cas, la vîtesse absolue de A est de 7 pieds ; celle de B, de 3 pieds ; & la vîtesse respective toujours de 4 pieds par seconde.

On appelle aussi, & dans le même sens, *vîtesse respective*, celle avec laquelle deux corps s'éloignent l'un de l'autre d'un certain espace dans un temps déterminé, quelles que soient leurs vîtesses absolues.

7. *Quantité du Mouvement.*

63. 7°. La *quantité du mouvement* d'un corps s'estime ou s'évalue en multipliant la masse de ce corps par sa vîtesse, car elle y est proportionnelle ; en sorte que le même corps a plus de mouvement, quand il a ou plus de masse ou plus de vîtesse ; ou, ce qui est la même chose, de deux corps dont les masses sont égales, celui qui a le plus de vîtesse, a le plus de mouvement ; & de deux corps dont les vîtesses sont égales, celui qui a le plus de masse, a le plus de mouvement : car la vîtesse, imprimée à un corps quelconque, appartient à chaque partie de ce corps ; & si elles se désunissoient, chacune continueroit de se mouvoir avec le même degré de vîtesse qui a été imprimé au corps entier, abstraction faite des obstacles qui augmentent

en conſéquence de la diviſion. Suppoſons, par exemple, qu'un corps A, qui a 4 de maſſe, & un corps B qui a 2 de maſſe, ſe meuvent chacun avec 6 degrés de vîteſſe : on peut concevoir le corps A, diviſé en 2 parties égales, ſe mouvant avec ces 6 degrés de vîteſſe : chacune de ces parties a donc une quantité de mouvement égale à celle du corps B, puiſqu'elle a la même maſſe & la même vîteſſe. Ces deux parties, réunies pour former le corps A, ont donc une quantité de mouvement double de celle du corps B, par la raiſon que la maſſe eſt double. On concluroit la même choſe, ſi les deux maſſes étant égales, le corps A avoit une vîteſſe double de celle du corps B. On a donc le rapport des quantités du mouvement de deux corps, en multipliant la maſſe de chacun par ſa vîteſſe, ſoit que leurs maſſes & leurs vîteſſes ſoient égales ou non. Suppoſons, par exemple, un corps A qui a 4 de maſſe & 6 de vîteſſe, & un corps B qui a 7 de maſſe & 5 de vîteſſe ; la quantité du mouvement du corps A eſt à celle du corps B, comme 24, produit de 4 de maſſe, multipliés par 6 de vîteſſe, eſt à 35, produit de 7 de maſſe, multipliés par 5 de vîteſſe. En général, *la quantité du mouvement d'un corps eſt en raiſon compoſée de ſa maſſe & de ſa vîteſſe.*

64. Un corps qui ſe meut, peut en mouvoir

d'autres, & cela d'autant mieux, qu'il a une plus grande quantité de mouvement; & comme cette quantité de mouvement eſt relative à ſa maſſe & à ſa vîteſſe (63), & qu'elle croît autant par l'une que par l'autre, on peut auſſi compenſer l'une par l'autre, ſuivant les circonſtances; car un corps qui a peu de maſſe, fait autant d'effort avec beaucoup de vîteſſe, qu'un autre en feroit avec moins de vîteſſe, s'il avoit plus de maſſe. Tout le monde ſait qu'avec un petit marteau, qu'on fait agir promptement, on enfonce autant le même clou, qu'on le feroit avec un gros marteau qui agiroit lentement.

Mouvement abſolu.

65. Le mouvement abſolu eſt le changement de rapport de ſituation d'un corps reſpectivement à tous les autres corps qui l'avoiſinent ou qui l'entourent. Tel eſt le mouvement d'un homme qui va d'un lieu à un autre; il change continuellement de rapport de ſituation reſpectivement aux différentes parties du terrein qu'il parcourt.

Mouvement relatif.

66. Le mouvement relatif eſt le changement de rapport de ſituation d'un corps relativement à certains corps qui l'environnent, ſoit de près, ſoit de loin; & non pas relativement à d'autres. Un

corps peut être en repos relativement à quelques-uns des corps qui l'entourent, & en mouvement relativement à d'autres corps. Par exemple, un homme immobile dans un vaiſſeau qui fait route, eſt en repos relativement au vaiſſeau & à ce qu'il contient; mais il eſt en un *mouvement relatif*, eu égard au rivage. Si cet homme, au lieu de ſe tenir en repos dans le vaiſſeau, s'y promenoit, il ſeroit en un mouvement relatif reſpectivement au vaiſſeau, & reſpectivement au rivage; car cet homme, par ſon mouvement propre, changeroit de ſituation avec les différentes parties du vaiſſeau; & par ſon mouvement commun avec le vaiſſeau qui le tranſporte, il changeroit de ſituation avec les corps qui ſont ſur le rivage. Cependant, ſi cet homme, tandis que le vaiſſeau cingle, marche de la proue à la poupe avec une vîteſſe égale à celle avec laquelle le vaiſſeau avance; c'eſt-à-dire, s'il parcourt la longueur du vaiſſeau dans le même temps que le vaiſſeau emploie à avancer d'une pareille quantité & en ſens contraire, cet homme eſt bien en mouvement relativement au vaiſſeau; mais il n'y eſt pas relativement au rivage: car il répond toujours au même point; & quelqu'un qui du rivage regarderoit cet homme, le verroit toujours correſpondre au même point du rivage oppoſé.

Mouvement simple.

67. Le mouvement simple est celui d'un corps qui n'est dirigé que vers un seul point ; soit que ce corps soit poussé ou tiré par une seule puissance, soit qu'il y en ait plusieurs qui le poussent ou le tirent dans la même direction. Un *mouvement simple* est donc l'effet d'une seule impulsion, ou de plusieurs qui agissent ensemble ou successivement dans la même direction. Tel est celui d'un corps grave, qui n'est commandé que par sa pesanteur, laquelle le fait descendre par une ligne perpendiculaire à l'horizon. Tel est encore celui d'une voiture tirée par six chevaux.

Mouvement composé.

68. Le mouvement composé est celui d'un corps qui est déterminé à se mouvoir par plusieurs puissances qui agissent en même temps & selon des directions différentes, & qui font angle ensemble ou qui se croisent au mobile. Un *mouvement composé* est donc l'effet de plusieurs impulsions qui agissent en même temps, & dont les directions se croisent. Tel est celui d'un bateau AE (*fig.* 5) qui suit la direction d'un canal AB, en obéissant en même temps à l'effort de deux hommes C, D, qui, placés chacun sur un des rivages, tirent le bateau, l'un par le moyen de la corde EC, & *Fig. 5.*

l'autre par le moyen de la corde ED. Ce bateau ſuit, en vertu de ces deux puiſſances, la direction EB.

Nous reviendrons en détail ſur ce mouvement (159), qui ſe rencontre très-ſouvent dans la Nature.

Mouvement rectiligne.

69. Le mouvement rectiligne eſt celui qui ſe fait en ligne droite. Il a toujours lieu dans les mouvemens ſimples (67). Il a lieu auſſi dans les mouvemens compoſés, lorſque les puiſſances qui les produiſent, perſéverent dans les mêmes rapports entre elles pendant toute la durée du mouvement, ſoit que ces puiſſances ne ſouffrent aucun changement, ſoit que les changemens ſoient égaux ou proportionnels de part & d'autre (161).

Mouvement curviligne.

70. Le mouvement curviligne eſt celui qui ſe fait en ligne courbe. Tels ſont tous les mouvemens compoſés (68), produits par des puiſſances, qui, agiſſant enſemble, changent à chaque inſtant de rapports, ſoit quant à la direction, ſoit quant à l'intenſité ou à la force.

Mouvement réfléchi.

71. Le mouvement réfléchi eſt celui d'un corps

qui rencontre un obſtacle impénétrable pour lui, tel qu'un mur, un rocher, &c. lequel l'oblige à rebrouſſer chemin, & le fait rejaillir après le choc. Tel eſt le mouvement d'une balle de paume, qui, après avoir touché le mur vers lequel on la lance, rejaillit vers celui qui l'a lancée.

Mouvement réfracté.

72. Le mouvement réfracté eſt celui d'un corps qui paſſe obliquement d'un milieu dans un autre, plus ou moins réſiſtant que le milieu d'où il ſort, & dont le plus ou moins de réſiſtance oblige le corps de quitter ſa premiere direction. Tel eſt le mouvement d'un corps qui paſſe de l'air dans l'eau, ou de l'eau dans l'air, en ſe préſentant obliquement un plan qui ſépare les deux milieux. On voit par-là, que, pour que le *mouvement réfracté* ait lieu, deux choſes ſont abſolument néceſſaires; ſavoir, le changement de milieu, & l'obliquité d'incidence ſur le plan qui ſépare ces deux milieux.

Loix du Mouvement.

73. On appelle *Loix du mouvement*, certaines regles ſuivant leſquelles les corps ſe meuvent, quand ils agiſſent les uns ſur les autres.

Il y a deux ſortes de mouvemens; ſavoir, le *ſimple* (67), & le *compoſé* (68), dont tous les

autres mouvemens, dont nous venons de parler, ne ſont que des eſpeces particulieres. En établiſſant les loix de ces deux mouvemens, nous aurons donc établi celles des autres : il ne reſtera plus qu'à ajouter quelques particularités, dont nous parlerons dans la ſuite.

I. *Loix du Mouvement ſimple.*

74. *Tout corps qui eſt une fois mis en mouvement, doit continuer de ſe mouvoir dans la direction & avec le degré de vîteſſe qu'il a reçu, ſi ſon état n'eſt changé par quelque cauſe nouvelle.*

Si donc ce corps quitte la ligne droite qu'il a commencé à décrire, ſi ſa vîteſſe s'accélere ou ſe ralentit, ces changemens viennent certainement d'une cauſe particuliere, qui le détermine autrement, qui ajoute ou qui retranche à ſa vîteſſe; ſans quoi la premiere cauſe ne ceſſeroit pas d'avoir pleinement ſon effet; car tous les corps ont une force d'inertie (41), par laquelle ils réſiſtent à toutes variations d'état; & cette réſiſtance ne peut être détruite que par une puiſſance qui lui ſoit oppoſée. Sans cette puiſſance, la loi auroit donc ſon effet.

75. Mais on peut objecter que cette loi aſſigne aux corps en mouvement une conſtance de direction & de vîteſſe qui ne ſe rencontre jamais; car tout mouvement ſe ralentit, & tout mobile

revient en repos, après un temps plus ou moins long.

Il est bien vrai qu'aucune expérience ne prouve directement l'énoncé de cette loi. Mais, 1°. tout corps, en tel état qu'il soit, tend à y persévérer par sa force d'inertie (41) : ce principe seul suffit pour prouver que la loi dont il s'agit existe dans la Nature. 2°. Si les corps perdent toujours leur mouvement après un certain temps, c'est qu'il y a toujours des obstacles qui le leur font perdre : car, 1°. les corps, dans quelque endroit & de quelque maniere qu'on les fasse mouvoir, se trouvent toujours plongés dans quelque fluide qui, à cet égard, se nomme *milieu*, & qu'ils sont obligés de déplacer sans cesse pour se faire un passage ; & comme ce milieu est matériel, & par conséquent impénétrable (11), il fait une continuelle résistance au mobile qui tend à le déplacer. Ce mobile ne peut donc continuer de se mouvoir, qu'en employant à chaque instant une partie de son mouvement pour vaincre cette résistance : ainsi, après un certain temps, il a tout employé, & se trouve réduit au repos. 2°. Tous les corps étant pesans (198), aucun d'eux ne peut se mouvoir, qu'il ne soit soutenu ou par une suspension, ou par un plan, ou du moins qu'il ne glisse dans quelque fluide qui le touche de toutes parts. De quelque maniere qu'on s'y prenne, il faut toujours qu'il passe par

les différens points de la surface du plan qu'il parcourt, ou du fluide qu'il divise. Cette application successive de surface à surface se nomme *frottement*, & apporte une résistance au mouvement. Or ces deux résistances, celle des milieux & celle qui vient des frottemens, sont, comme l'on voit, tellement liées à l'état naturel, qu'elles sont absolument inévitables. Si ces résistances cessoient d'exister, notre premiere loi auroit certainement son plein & entier effet. Un corps qui seroit une fois mis en mouvement dans le vide absolu, s'il étoit possible, continueroit donc à se mouvoir pendant l'éternité dans ce vide, & y parcourroit à jamais des espaces égaux en temps égaux; puisque là aucun obstacle ne consumeroit la force de ce corps, ni en tout, ni en partie.

Comme nous sommes souvent intéressés à connoître la quantité de mouvement qui reste à un corps, déduction faite de celle que lui ont fait perdre les résistances qui naissent & des milieux & des frottemens, voyons donc ce qu'on doit considérer, quand on veut évaluer ces résistances.

Résistance des Milieux, ou des Fluides.

76. La résistance des milieux est l'obstacle que les fluides, au travers desquels les corps se meuvent, opposent au mouvement de ces corps (75); car ces fluides ou milieux étant matériels, résistent,

comme tous les autres corps, par leur inertie (11), aux efforts qui tendent à les déplacer. Cette réſiſtance eſt proportionnelle à la maſſe (24) qui doit être déplacée. La valeur de cette maſſe dépend, 1°. de la denſité du milieu; 2°. du volume qu'il en faut déplacer : donc plus cette denſité & ce volume ſont grands, plus la réſiſtance du milieu eſt conſidérable. Mais ce volume, qui doit être déplacé, ſe meſure par la ſurface antérieure du corps qui ſe meut, & par l'eſpace que ce corps parcourt dans un temps donné. Donc, plus la ſurface antérieure & la vîteſſe de ce corps ſont grandes, plus eſt grande la maſſe déplacée du milieu; & par conſéquent plus eſt grande ſa réſiſtance.

77. Pour évaluer cette réſiſtance, *Newton* a donné une regle qui nous fournit du moins quelques notions. Il a démontré qu'un *corps ſphérique*, qui ſe meut dans un milieu tranquille, d'une denſité égale à la ſienne, perd la moitié de ſon mouvement en parcourant un eſpace égal à $\frac{8}{3}$ de ſon diametre. Ce que cette ſphere déplace du fluide, équivaut à un cylindre dont la baſe a pour diametre celui de la ſphere, & pour axe la ligne que ſon centre décrit; c'eſt-à-dire, $\frac{8}{3}$ du diametre de la ſphere. Or le cylindre eſt à la ſphere de même diametre comme 3 eſt à 2. Un cylindre dont la baſe a pour diametre celui d'une ſphere, & pour hauteur les $\frac{2}{3}$ de ce diametre (ſuppoſant égales les

denſités de l'un & de l'autre), a donc une maſſe égale à celle de la ſphère. Donc, dans ce cas-là, la maſſe déplacée du fluide eſt à la maſſe du corps ſphérique, comme 8 eſt à 2, ou comme 4 eſt à 1. Par conſéquent, quelle que ſoit la denſité du milieu, ainſi que celle du corps ſphérique qui s'y meut, toutes les fois que ce corps ſphérique aura déplacé une maſſe de ce milieu qui égale 4 fois la ſienne, il aura perdu la moitié de ſon mouvement.

78. Pour ſavoir donc quel eſpace un corps ſphérique doit parcourir, par exemple, dans l'eau, pour perdre la moitié de ſon mouvement, il faut connoître le rapport de la denſité de ce corps à celle de l'eau. La denſité de l'or pur eſt à celle de l'eau, comme 192581 eſt à 10000; la denſité du cuivre jaune eſt à celle de l'eau, comme 83958 eſt à 10000; la denſité du plomb eſt à celle de l'eau, comme 113523 eſt à 10000. D'où il ſuit qu'une ſphère d'or, pour perdre la moitié de ſon mouvement, doit parcourir dans l'eau un eſpace égal à 51 fois & $\frac{1}{3}$ ſon diamètre; la boule de cuivre, un eſpace égal à 22 fois & $\frac{1}{3}$ ſon diamètre; & la boule de plomb, un eſpace égal à 30 fois & $\frac{1}{4}$ ſon diamètre. Nous avons ſuppoſé que le corps eſt ſphérique; car s'il avoit une autre figure, il éprouveroit une réſiſtance différente; & pour perdre la moitié de ſon mouvement, il lui faudroit parcourir un eſpace ou plus ou moins grand, ſuivant

la figure qu'il auroit, ou suivant celle de la surface qui, pendant le mouvement, seroit antérieure.

M. *Jacques Bernouilli* a démontré les théorêmes suivans.

79. Si un triangle isocelle est mu dans un fluide suivant la direction d'une ligne perpendiculaire à sa base, d'abord par sa pointe, ensuite par sa base, la résistance dans le premier cas sera à la résistance dans le second cas, comme le quarré de la moitié de la base est au quarré d'un des côtés. D'où l'on voit que plus l'angle du sommet du triangle sera aigu, moins grande sera la résistance.

80. La résistance d'un quarré mu suivant la direction de son côté, est à la résistance de ce même quarré mu suivant la direction de sa diagonale, comme le côté est à la moitié de la diagonale.

81. La résistance d'un demi-cercle qui se meut par sa base, est à sa résistance, lorsqu'il se meut par son sommet, comme 3 est à 2. (L'expérience fait voir que c'est comme 3 à moins de 2.)

Ces regles peuvent être utiles jusqu'à un certain point dans la construction des vaisseaux.

82. Nous avons dit ci-dessus (76) que la résistance des milieux dépend de la quantité qu'on en déplace dans un temps donné; & que cette quantité est mesurée par la surface antérieure du

corps qui se meut, & par le chemin qu'il parcourt pendant ce temps. Donc, plus cette surface est grande, plus la résistance est considérable. C'est pourquoi, lorsqu'un vaisseau a toutes ses voiles déployées, il donne plus de prise au vent. Il suit de là que le même corps, parcourant des espaces égaux dans le même temps, peut éprouver dans le même milieu des résistances plus ou moins grandes, suivant la maniere dont il se présente au choc du milieu. On sait qu'on éprouve dans l'eau une plus grande résistance, en y faisant mouvoir sa main par le plat, que par le tranchant. C'est pourquoi le Batelier fait agir sa rame par le plat, quand il cherche un point d'appui dans la résistance de l'eau; mais il la releve par le tranchant pour se moins fatiguer. Par la même raison, une regle plate qu'on fait mouvoir dans l'air, y éprouve une moindre résistance par son tranchant, que par son plat.

83. Cette résistance des milieux croît aussi à mesure que la vîtesse du mobile augmente; & elle ne croît pas simplement comme la vîtesse, mais à peu près comme le quarré de la vîtesse: de sorte que, si l'on suppose deux corps égaux A & B, qui se meuvent tous deux dans le même milieu; & que A se meuve avec une vîtesse triple de celle de B, A éprouvera une résistance neuf fois aussi grande que celle qu'éprouvera B; car quand des

corps

corps ſemblables ſe meuvent à travers le même fluide, avec des vîteſſes différentes, cette réſiſtance croît en proportion du nombre des particules frappées dans un temps égal, & ce nombre eſt comme l'eſpace parcouru dans le même temps, c'eſt-à-dire, comme la vîteſſe: mais de plus, elle croît en proportion de la force avec laquelle le corps heurte contre chaque partie; & cette force eſt comme la vîteſſe du corps. Par conſéquent, ſi la vîteſſe eſt triple, la réſiſtance eſt triple, à cauſe du nombre triple de parties que le corps doit écarter: elle eſt auſſi triple, à cauſe du choc trois fois auſſi fort dont elle frappe chaque particule. C'eſt pourquoi la réſiſtance totale eſt neuf fois auſſi grande, c'eſt-à-dire, comme le quarré de la vîteſſe. Ainſi un corps qui ſe meut dans un fluide, eſt retardé, partie en raiſon ſimple de ſa vîteſſe, & partie en raiſon doublée de cette même vîteſſe; & quand cette vîteſſe eſt crue à un certain point, le corps frappe le fluide plus vîte qu'il ne peut céder; & ce fluide ſert de point d'appui. Pourquoi, par exemple, les coups de rames font-ils avancer un bateau? & pourquoi le font-ils avancer d'autant plus vîte, qu'ils ſont plus prompts & plus fréquens? C'eſt que, lorſqu'on frappe l'eau plus vîte qu'elle ne peut céder, elle devient, par cette lenteur à obéir, le point d'appui de la rame. Les poiſſons font avec leurs nageoires & leur queue, les

Nageurs font avec leurs bras & leurs jambes, ce que le Batelier fait avec ſes rames.

84. L'air, étant matériel, eſt un milieu réſiſtant, comme les autres ; à cela près qu'étant moins denſe, il réſiſte moins. Pour qu'il ſerve de point d'appui, il faut donc le frapper ou plus vîte, ou en plus grand volume. Auſſi les oiſeaux qui volent long-temps & fort loin, comme les hirondelles, les oiſeaux de proie, pluſieurs oiſeaux aquatiques, &c. ont peu de corps, beaucoup de plumes, & les ailes fort grandes, afin de pouvoir frapper un plus grand volume d'air, & n'avoir pas beſoin d'une grande vîteſſe, qui les fatigueroit beaucoup. Ceux au contraire qui ont un vol plus court & moins fréquent, ont plus de chair, & des ailes par proportion plus petites : c'eſt pourquoi ils ont beſoin de frapper l'air avec plus de vîteſſe ; ce qui les fatigue, & les empêche d'aller loin. Que l'on compare maintenant le poids d'un homme avec la force qu'il lui faudroit avoir dans les muſcles des bras, pour mouvoir des ailes d'une grandeur proportionnée à ſa maſſe, & avec une vîteſſe capable de le ſoutenir en l'air ; & l'on jugera de la folie de ceux qui ont cherché les moyens de voler. Que l'on ne diſe pas que les ballons nous ont prouvé ces moyens poſſibles : ce n'eſt pas le même cas, à beaucoup près. Un homme eſt ſoutenu en l'air par ſon ballon, qui eſt un corps plus léger qu'un

pareil volume du fluide dans lequel il eſt plongé ; & il y eſt ſoutenu, ſans avoir beſoin d'employer aucune force.

85. La réſiſtance qui vient de la cohéſion des parties dans les fluides, excepté ceux qui ſont glutineux, n'eſt guere ſenſible en comparaiſon de l'autre réſiſtance, qui eſt en raiſon des quarrés des vîteſſes. Plus la vîteſſe eſt grande, plus les deux réſiſtances ſont différentes ; c'eſt pourquoi, dans les mouvemens rapides, il ne faut conſidérer que la réſiſtance qui eſt comme le quarré de la vîteſſe.

86. Si le milieu eſt agité ; ſa réſiſtance ſera augmentée ou diminuée par ſon mouvement propre ; augmentée, ſi le milieu ſe meut en ſens contraire du mobile ; diminuée ou même annullée, ſi le mobile & le milieu ſe meuvent dans le même ſens. Un poiſſon, par exemple, qui remonte le courant d'une riviere, un homme qui va contre le vent, ont chacun deux réſiſtances à vaincre : l'une eſt l'inertie du volume du milieu qu'il leur faut déplacer, comme ils le feroient dans un fluide tranquille ; l'autre eſt le mouvement acquis du fluide, dont la direction eſt contraire à la leur. C'eſt pour cette raiſon que, quand on fait mouvoir un corps contre la direction d'un fluide dont le mouvement eſt rapide, on diminue ſon volume autant qu'il eſt poſſible, pour donner moins de priſe à l'effort du courant. Un vaiſſeau qui a le vent

contraire, plie ſes voiles; quand le vent eſt trop fort, le Meûnier déshabille en partie les ailes de ſon moulin.

87. Si le mobile & le fluide qui lui ſert de milieu ont la même direction, ou ils ont des vîteſſes égales, ou l'un des deux en a plus que l'autre. Dans le premier cas, la réſiſtance du milieu eſt nulle : tel eſt un poiſſon qui ſuit exactement le courant de l'eau : tel eſt un ballon qui s'en va au gré du vent; ni l'un ni l'autre n'éprouve aucune réſiſtance de la part du milieu. Dans le ſecond cas, celui des deux qui a le plus de vîteſſe en communique à l'autre aux dépens de celle qu'il a. Un boulet de canon, par exemple, qui part dans la direction du vent, ne trouve pas autant de réſiſtance dans l'air, qu'il en trouveroit dans un temps calme; ſa vîteſſe eſt moins retardée : mais, comme il va plus vîte que le vent, il faut toujours qu'il s'ouvre un paſſage dans ce milieu qui fuit devant lui avec trop de lenteur. Il éprouve donc une réſiſtance, mais moindre que ſi l'air étoit tranquille.

88. Ce qu'il y auroit pour nous de plus intéreſſant à connoître exactement, relativement à la réſiſtance des fluides, ce ſeroit ſur-tout celle de l'eau pour les corps qui flottent deſſus, tel qu'un bateau, un vaiſſeau, &c. Cette réſiſtance dépend, 1°. de la denſité du fluide; 2°. du volume de ce

fluide qui doit être déplacé dans un temps donné; 3°. de la vîteſſe du mobile; 4°. de la figure du mobile; 5°. de la largeur & de la profondeur du canal.

89. 1°. Cette réſiſtance dépend de la denſité du fluide; plus cette denſité eſt grande, plus la réſiſtance eſt grande. L'eau de mer, ayant plus de denſité que l'eau de riviere, réſiſte davantage.

90. 2°. Elle dépend du volume du fluide qui doit être déplacé dans un temps donné. Ce volume déplacé dépend de la ſurface antérieure du mobile, & de l'eſpace parcouru (76). Si le choc du fluide ſur la ſurface antérieure du mobile eſt perpendiculaire à ſa direction, la réſiſtance eſt ſenſiblement proportionnelle à l'étendue des ſurfaces. Elle augmente même dans une raiſon un peu plus grande, que n'augmente l'étendue de la ſurface en largeur, pour les corps qui flottent; c'eſt-à-dire que ſi l'on double la largeur du bateau, la réſiſtance eſt un peu plus que doublée; car plus cette ſurface eſt large, plus le fluide a de peine à ſe détourner & à ſe mettre de niveau: ce que prouve le *remou*, qui eſt alors plus conſidérable. Mais cette réſiſtance augmente un peu moins que n'augmente l'étendue de la ſurface en profondeur; c'eſt-à-dire que ſi l'on double la profondeur du bateau, ſans augmenter ſa largeur, la réſiſtance eſt un peu moins que doublée; parce qu'alors le *remou*, qui ſe fait tout à la ſurface du fluide, eſt

moindre. En général, dans la pratique, on peut supposer, sans crainte d'erreur sensible, que *la résistance perpendiculaire & directe d'une surface plane, qui se meut parallélement à elle-même dans un fluide indéfini, est égale au poids d'une colonne du même fluide, laquelle auroit pour base la surface choquée; & pour hauteur, celle qui est due à la vîtesse avec laquelle se fait la percussion.*

Mais si deux plans différens se meuvent tous deux parallélement à eux-mêmes, dans le même fluide avec des vîtesses différentes, *les résistances du fluide seront entre elles comme les produits de ces plans, par les quarrés de leurs vîtesses.*

Si les fluides dans lesquels ces deux plans se meuvent, n'étoient pas de la même espece, la raison de leurs densités devroit entrer dans le calcul. Alors *les résistances seroient en raison composée des plans, des densités des fluides, & des quarrés des vîtesses de ces plans.* Il ne faut pas manquer de faire ainsi le calcul, lorsqu'il s'agit de comparer la résistance d'un fluide à celle d'un autre fluide de densité différente. Par exemple, en supposant des plans de même étendue, & se mouvant avec la même vîtesse, la résistance de l'eau est à celle de l'air, à très-peu de chose près, comme $811\frac{1}{2}$ est à 1; c'est-à-dire, dans le rapport des densités de ces deux fluides.

Si les deux fluides étoient eux-mêmes en mouvement, soit en même sens, soit en sens contraire du mouvement des plans, *les résistances seroient entre elles comme les produits des plans par les quarrés des différences ou des sommes des vîtesses des fluides & des plans.*

91. Dans le choc oblique, la regle établie est que *les résistances sont en raison du quarré du sinus de l'angle d'incidence du fluide sur le plan.* Mais cette théorie s'éloigne beaucoup de la pratique, quand les angles sont fort petits; & l'expérience prouve que la résistance est beaucoup plus grande que ne la donne la théorie. Ainsi cette théorie ne peut pas déterminer exactement les résistances qui proviennent des chocs obliques, même quand on introduiroit, au lieu du quarré, toute autre puissance du sinus de l'angle d'incidence. La fonction générale du temps, de l'espace, de la surface & du sinus de l'angle d'incidence, qui devroit être propre à représenter la résistance dans tous les cas, est un objet de recherche très-difficile, & bien digne de l'attention des Géometres. Cette théorie ne peut pas non plus être employée pour trouver le solide de la moindre résistance; ce qui seroit pourtant un grand avantage pour la construction des vaisseaux, & ce qui seroit très-propre à les rendre les meilleurs voiliers possibles.

Si l'on veut comparer la réſiſtance du choc perpendiculaire à celle du choc oblique dans le même fluide, ſuppoſons que le fluide X frappe perpendiculairement le plan A en repos, & que le fluide Y frappe obliquement le plan B, auſſi en repos; alors la réſiſtance contre le plan A ſera à la réſiſtance contre le plan B, comme le produit du plan A par le quarré de la vîteſſe du fluide X & par le quarré du ſinus total, eſt au produit du plan B par le quarré de la vîteſſe du fluide Y & par le quarré du ſinus de l'angle d'incidence du fluide Y ſur le plan B.

92. A l'égard de la tenacité de l'eau & de la cohéſion de ſes parties, ainſi que du frottement qu'elle cauſe; cette force doit être regardée comme infiniment petite par rapport à la réſiſtance qui vient de l'inertie (85). Cette tenacité & ce frottement ne pourroient devenir ſenſibles, que dans le cas extraordinaire, où le vaiſſeau auroit une longueur exceſſive par rapport à ſa largeur.

93. 3°. La réſiſtance des fluides dépend de la vîteſſe du mobile. Cette réſiſtance ſuit à peu près la raiſon du quarré des vîteſſes (83). A la rigueur, elle augmente en plus grande raiſon que le quarré de la vîteſſe, à cauſe que le fluide ne fuit pas aſſez vîte devant le mobile; ce que prouve le *remou*; mais la différence n'eſt pas grande.

94. 4°. La figure du vaiſſeau contribue beaucoup

à la réſiſtance du fluide ſur lequel il flotte. La plus forte réſiſtance vient du choc direct & perpendiculaire (90). Le choc oblique la diminue (91); & d'autant plus, que l'angle de la proue eſt plus aigu; car plus cet angle eſt aigu, plus le ſinus de l'angle d'incidence du fluide eſt petit. Mais cet angle très-aigu eſt incommode; il donneroit beaucoup de longueur au vaiſſeau, & peu d'emplacement dans l'intérieur.

95. 5°. La réſiſtance du fluide dépend de la largeur & de la profondeur du canal. Plus les canaux ſont étroits & peu profonds, plus la réſiſtance eſt grande; parce que le fluide, pouſſé par le bateau, a d'autant moins la liberté de paſſer de l'avant à l'arriere. La différence peut aller très-loin; la réſiſtance peut être double ou même triple. Il eſt donc eſſentiel de donner aux canaux de navigation le plus de largeur & de profondeur qu'il eſt poſſible, ſans ſe jeter néanmoins dans une dépenſe ſuperflue.

On doit éviter auſſi, à moins qu'on n'y ſoit forcé par des circonſtances locales, de conſtruire des canaux ſouterreins; car, pour leur donner les dimenſions requiſes, ils couteroient des ſommes énormes, ſoit pour l'extraction des terres, ſoit pour la conſtruction des voûtes, qui ſont preſque toujours néceſſaires.

Réſiſtance des Frottemens.

96. On appelle *frottement*, le paſſage d'une ſurface d'un corps ſur celle d'un autre corps. Toutes les fois que deux ſurfaces gliſſent l'une ſur l'autre, il y a donc frottement, lequel oppoſe une réſiſtance; parce que ces ſurfaces, quelque polies qu'elles nous paroiſſent, ne le ſont jamais parfaitement: ce ſont toujours des aſſemblages de petites éminences & de petites cavités. Je n'en excepte pas même la ſurface polie d'un diamant; car cette ſurface a été polie avec quelques poudres, qui l'ont ſillonnée: ces ſillons ſont, à la vérité, tellement petits, que nos yeux ne les apperçoivent pas; mais ils n'exiſtent pas moins. Lors donc que deux ſurfaces ſe touchent, les éminences de l'une entrent dans les cavités de l'autre; & pour les faire gliſſer l'une ſur l'autre, il faut ou arracher les parties engagées, ou ſoulever le corps pour les dégager, & par conſéquent vaincre le poids de ce corps. Or il faut une force réelle, ou pour vaincre le poids du corps, ou pour en arracher les parties engagées; & ce qui réſiſte à cette force, eſt ce qu'on appelle *frottement*. Les frottemens ſont donc une réſiſtance réelle au mouvement des corps.

97. La ſurface d'un corps peut parcourir la ſurface d'un autre corps de deux manieres, ou ſimplement en gliſſant, ou en roulant. Dans le

premier cas, il y a application ſucceſſive des mêmes parties d'une ſurface à différentes parties de l'autre; comme lorſqu'on fait gliſſer une planche ſur une table. Dans le ſecond cas, il y a application ſucceſſive des différentes parties d'une ſurface à différentes parties de l'autre; comme lorſqu'on fait rouler une boule ou une roue ſur un terrein. De là on diſtingue deux ſortes de frottemens. Lorſque les corps gliſſent l'un ſur l'autre, le frottement ſe nomme celui de la premiere eſpece; lorſque l'un roule ſur l'autre, le frottement ſe nomme celui de la ſeconde eſpece. Ces deux eſpeces de frottemens oppoſent une réſiſtance, & ralentiſſent le mouvement des corps; mais la réſiſtance de celui de la ſeconde eſpece eſt moindre que celle de l'autre, & produit moins d'effet; car pour vaincre la réſiſtance du frottement de la premiere eſpece, il faut, ou ſoulever le corps gliſſant, ou en rompre les parties engagées; au lieu que, dans celui de la ſeconde eſpece, les parties engagées du corps roulant ſe quittent & ſe déſengrenent à peu près comme le font les dents de deux roues qui roulent l'une ſur l'autre. C'eſt pourquoi, lorſqu'on ſe trouve dans une deſcente rapide avec une voiture, pour en ralentir la vîteſſe & l'empêcher de ſe précipiter, on enraye une des roues. Par ce moyen, on change le frottement de la ſeconde eſpece en celui de la premiere, qui réſiſte davantage.

98. Il y a encore plus de difficultés à évaluer la réſiſtance des frottemens, que celle des milieux. Le paſſage d'une ſurface ſur une autre fait une réſiſtance d'autant plus grande, & ce paſſage eſt d'autant plus retardé, que ces ſurfaces ont plus d'inégalités; mais ce plus ou ce moins d'inégalités varie à l'infini, & eſt très-difficile à connoître. Les autres qualités, ſavoir, la grandeur des ſurfaces frottantes, la force qui preſſe ces ſurfaces l'une ſur l'autre, la vîteſſe avec laquelle elles ſe meuvent, ſont plus faciles à eſtimer; mais comme leur valeur eſt relative à l'état actuel des ſurfaces frottantes, & que cet état eſt peu connu, il reſte toujours de l'incertitude. Il faut donc le plus ſouvent ſe contenter d'un à peu près. Il eſt aſſez d'uſage de ſuppoſer, dans les grandes machines, un tiers de la force employée pour vaincre la réſiſtance des frottemens; & quelquefois ce tiers ne ſuffit pas.

99. M. *Amontons* (*Mém. de l'Acad. des Scienc. année 1699, p. 206*) a penſé que, pour évaluer les frottemens, on ne devoit pas avoir égard à la grandeur des ſurfaces frottantes, mais ſeulement à la force qui preſſe ces ſurfaces les unes contre les autres; laquelle force n'eſt ſouvent que le poids des corps, qu'il faut ſoulever pour les faire gliſſer; & que par conſéquent, lorſqu'une piece de bois, par exemple, a plus d'épaiſſeur dans un ſens que dans l'autre, il eſt indifférent de traîner cette piece de

bois sur sa grande ou sa petite surface ; que dans les deux cas la résistance des frottemens est égale, parce que le poids de cette piece demeure toujours le même, & que sa charge est distribuée à toutes les parties de la surface frottante ; de sorte que, si cette surface frottante est la plus grande, il y a, à la vérité, plus de parties engagées, mais elles le sont moins que s'il y en avoit un moindre nombre, mais qui seroient plus chargées. M. *Amontons* a soutenu & appuyé son opinion sur des expériences ingénieuses & des raisonnemens spécieux. Cependant l'expérience prouve aussi qu'il y a des cas où il faut compter pour quelque chose la grandeur des surfaces, quoique l'augmentation des surfaces frottantes augmente beaucoup moins la résistance des frottemens, que ne le fait l'augmentation des pressions. Et en effet, la premiere cause des frottemens est l'inégalité des surfaces (96) : en augmentant la grandeur de ces surfaces, on fait croître le nombre de ces inégalités ; puisqu'on augmente la cause, l'effet doit être augmenté.

100. Outre la pression & la grandeur des surfaces, on doit encore faire entrer la vîtesse dans l'évaluation des frottemens ; car si l'on augmente la vîtesse, il est évident que, la surface frottante faisant plus de chemin dans un temps déterminé, ses éminences seront, pendant ce temps, ou pliées, ou rompues, ou dégagées, en plus grand

nombre, & par conſéquent le corps ſoulevé plus fréquemment, ce qui augmente la réſiſtance. Il eſt pourtant vrai que cette augmentation de réſiſtance, qui vient de la vîteſſe avec laquelle on fait frotter les ſurfaces, a ſes bornes, au delà deſquelles on peut accélérer la vîteſſe, ſans que les frottemens en deviennent plus conſidérables : de ſorte qu'on peut dire en quelque façon, qu'en augmentant la cauſe, on n'augmente plus ſon effet ; ce qui a beſoin d'être expliqué. Pour cela, ſuppoſons
Fig. 6. que DE & FG (*fig. 6.*) repréſentent deux ſurfaces de corps durs, dont les inégalités preſque inſenſibles (quoiqu'ici repréſentées en grand), ſont engrenées les unes dans les autres ; que la preſſion qui les joint agiſſe dans la direction AB, perpendiculaire à celle qu'ont les deux corps, quand ils gliſſent l'un ſur l'autre. Il eſt clair que le corps DE ne peut ſe mouvoir ſuivant la direction BC, à moins que ſes parties ſaillantes *e*, *f*, *g*, *h*, ne ſe dégagent des creux dans leſquels elles ſont enfoncées ; ce qui ne peut ſe faire, qu'autant que le corps entier DE ſera ſoulevé contre l'effort de la preſſion. Si cette preſſion fait retomber ces parties ſaillantes dans les creux ſuivans, de ſorte que *e*, ſortant de 1, retombe en 2, enſuite en 3, &c., il eſt clair que l'effort qu'il faudra faire pour ſoulever le corps DE, ſe répétera autant de fois qu'il y aura d'éminences & de creux ; & plus le corps DE

fera de chemin dans un temps donné, plus ces soulévemens & ces rechûtes seront fréquens. Mais si la vîtesse est assez grande pour que les éminences, une fois dégagées, passent plusieurs cavités sans y retomber; que la partie *e*, par exemple, ayant été dégagée du creux 1, au lieu de retomber dans le 2, soit transportée jusqu'au 3 ou jusqu'au 4, on conçoit aisément que le corps frottant DE pourra parcourir 2 ou 3 fois autant de surface sur FG, sans que ses éminences y soient plus fréquemment engagées; auquel cas la résistance du frottement ne sera pas augmentée, quoique la vîtesse le soit.

Nous avons dit (98) qu'il étoit très-difficile d'évaluer au juste la résistance des frottemens. Voyons du moins ce que l'expérience prouve de certain, relativement à cette résistance.

101. 1°. *Le frottement de la premiere espece cause une résistance beaucoup plus grande que celle que cause le frottement de la seconde espece* (97). Pour vous en assurer, faites l'expérience suivante.

Expérience. Mettez sur une table un bloc de marbre, poli ou non, pesant 50 ou 60 livres; essayez de le pousser avec la main, vous y trouverez une très-grande résistance. Ici c'est un frottement de la premiere espece (97). Mettez ensuite, entre la table & le bloc de marbre, deux cylindres

ou rouleaux de bois, ils changeront le frottement de la premiere eſpece en celui de la ſeconde (97) : avec un très-petit effort vous ferez avancer le bloc de marbre. Donc, &c. C'eſt ainſi qu'on fait avancer ſur le terrein de groſſes pierres, qu'on ne remueroit que difficilement ſans cela.

Tous les frottemens tendent donc à détruire le mouvement des corps ; mais celui de la premiere eſpece a des effets beaucoup plus conſidérables que celui de la ſeconde eſpece. Ces effets du frottement ſe rencontrent par-tout ; ils ſont la principale cauſe de l'altération & du dépériſſement de nos habits, de nos meubles, &c. Les fers des chevaux ne s'uſent-ils pas en frottant ſur le pavé, ainſi que les bandes des roues ? C'eſt principalement ce qui fournit cette grande quantité de fer, qui ſe mêle & qui noircit les boues des grandes villes, où il paſſe beaucoup de chevaux & de voitures.

102. Si les frottemens nous ſont ſouvent nuiſibles, ils nous ſont quelquefois utiles ; les Arts ſavent les tourner à leur avantage. Une lime n'agit que par ſon frottement augmenté par la preſſion. C'eſt une ſurface garnie d'aſpérités qui s'inſinuent entre les parties de la piece qu'on travaille, & qui les arrachent. On peut dire la même choſe des meules & autres pierres à aiguiſer.

103. Lorſque la réſiſtance des frottemens eſt trop

trop grande, on la diminue beaucoup en enduiſant les ſurfaces frottantes de quelque matiere graſſe; comme lorſqu'on met du vieux oing entre l'eſſieu & le moyeu d'une roue. Cela produit deux effets qui contribuent à la diminution de la réſiſtance du frottement. 1°. Cette matiere graſſe remplit en partie les creux, & par-là rend moindres les inégalités des ſurfaces. 2°. Ce qui demeure de trop de cette matiere graſſe, & qui ne ſe loge pas dans les creux, fait l'équivalent des rouleaux dont nous avons parlé ci-deſſus (101), & change le frottement de la premiere eſpece en celui de la ſeconde.

104. 2°. *La réſiſtance des frottemens augmente par l'augmentation des ſurfaces frottantes*, comme le prouve l'expérience ſuivante.

Expérience. Mettez ſur une grande table, une piece de bois qui ait plus de largeur que d'épaiſſeur; qui ait, par exemple, 6 pouces de largeur & 3 pouces d'épaiſſeur. Moyennant un anneau fixé à un de ſes bouts, attachez-y une corde que vous ferez paſſer ſur une poulie fixée ſur le bord de la table, & que la corde porte un baſſin de balance. Mettez dans ce baſſin autant de poids qu'il en faudra pour faire avancer la piece de bois, frottant, 1°. ſur ſa grande face; 2°. ſur ſa petite. Vous verrez qu'il faudra un peu plus de poids dans le premier cas, que dans le ſecond. Donc, &c.

En effet, les inégalités des surfaces sont la premiere cause des frottemens (96) : en augmentant l'étendue des surfaces frottantes, on fait croître le nombre de ces inégalités. On augmente donc la cause. L'effet doit être augmenté. Mais cet effet n'est pas augmenté autant que l'étendue de la surface ; car une surface double ne cause pas une résistance double. Il arrive même quelquefois que l'augmentation de cet effet n'est pas sensible, comme dans certaines petites machines bien travaillées ; mais il n'en est pas de même dans les grandes machines, où souvent les pieces ne sont que dégrossies.

105. L'augmentation de résistance à raison des surfaces frottantes, a lieu aussi pour les fluides : leur vîtesse est d'autant plus retardée, que les surfaces frottantes ont plus d'étendue. L'expérience fait voir que les jets d'eau (qui ne s'élevent qu'en vertu de la vîtesse que l'eau a acquise en descendant) s'élevent d'autant moins, que les tuyaux sont plus petits ; parce qu'alors la surface frottante est proportionnellement plus grande : car la surface d'un gros tuyau, quoique plus grande que celle d'un petit, est cependant moindre relativement à sa capacité. Supposons deux tuyaux cylindriques, dont l'un ait 2 pouces de diametre, & l'autre 1 pouce seulement : il est démontré que la surface du gros n'est que double de celle du petit, tandis

que sa capacité est quadruple : il faudroit donc quatre petits tuyaux pour contenir toute l'eau que tient le gros ; & les surfaces de ces quatre tuyaux, prises ensemble, seroient doubles de la surface du gros. Donc plus les tuyaux sont menus, plus les surfaces frottantes sont grandes, relativement au volume d'eau qui y passe. C'est par la même raison que les rivieres coulent plus lentement dans les eaux basses : les surfaces frottantes sont alors plus grandes relativement au volume d'eau. Car supposons AEFB (*fig.* 7.) la coupe du lit d'une riviere, & qu'il n'y ait de l'eau qu'à la hauteur CD, les surfaces frottantes sont le fond EF, & les deux côtés CE & DF : doublons maintenant la quantité d'eau en la supposant à la hauteur AB ; les surfaces frottantes ne feront augmentées que des deux côtés AC & BD : les surfaces latérales frottantes seront doublées ; mais le fond ne le sera pas. *Fig.* 7.

106. 3°. *La résistance des frottemens augmente par l'augmentation de la pression.*

Expérience. Servez-vous de l'appareil de l'expérience précédente (104). Après avoir éprouvé quel est le poids nécessaire pour faire avancer la piece de bois, frottant sur sa face de 6 pouces, chargez cette piece de bois d'un poids égal au sien ; vous aurez par-là doublé la pression de la piece sur la table. Pour la faire avancer, dans ce second cas,

il faudra un poids beaucoup plus considérable que dans le premier. Donc, &c. La raison de cela est que les parties s'engagent d'autant plus profondément que la pression est plus grande : elles résistent donc davantage à la force qui tend à les dégager.

107. 4°. *A proportions égales, la résistance des frottemens augmente beaucoup plus par l'augmentation de la pression, que par l'augmentation des surfaces frottantes*; c'est-à-dire que cette résistance est beaucoup plus augmentée en doublant ou triplant la pression, qu'en doublant ou triplant l'étendue des surfaces frottantes.

Ceci est prouvé par ce qui précede. On a vu (104) qu'une surface double n'oppose qu'une résistance fort peu supérieure à celle qu'oppose une surface simple; & l'on a vu (106) qu'une pression double produit une résistance beaucoup plus considérable. Donc, &c.

108. Voilà tout ce que l'expérience nous apprend, relativement à la résistance des frottemens. Il est donc très-difficile, comme nous l'avons déjà dit (98), peut-être même impossible, d'en déterminer au juste la valeur; parce que cette valeur dépend toujours de l'état actuel des surfaces frottantes, lequel n'est jamais assez connu : cependant on approche assez du vrai, si l'on évalue la résistance du frottement de la premiere espece à $\frac{1}{3}$ de la pression.

109. Mais si l'on avoit un intérêt réel à connoître exactement la valeur de la réſiſtance du frottement de deux pieces déterminées, on pourroit la connoître au juſte de la maniere ſuivante. Nous ferons voir dans la ſuite (543) que la force néceſſaire pour ſoutenir un corps ſur un plan incliné, qui ſeroit parfaitement poli, & qui n'occaſionneroit aucun frottement; que cette force, dis-je, eſt au poids de ce corps, comme la hauteur du plan eſt à ſa longueur. Eh bien, de l'un de ces deux corps dont vous voulez connoître la valeur du frottement, faites un plan incliné; placez l'autre deſſus, & donnez à ce plan une inclinaiſon telle que le frottement du plan & la peſanteur du corps qui eſt deſſus ſoient préciſément en équilibre. Dans ce cas-là, la réſiſtance du frottement de ces deux corps ſera au poids du corps placé ſur le plan, comme la hauteur du plan eſt à ſa longueur. Si, par exemple, le plan a 10 pieds de longueur & 4 de hauteur, la réſiſtance du frottement ſera égale à quatre dixiemes du poids du corps.

110. De tout ce que nous venons de dire, de la réſiſtance des milieux & de celle des frottemens, on doit conclure que, dans l'état naturel des choſes, il ne peut y avoir aucun mouvement mécanique inaltérable; puiſque ces deux réſiſtances, qui ſont inévitables, ſont des cauſes qui exigent à chaque

inſtant que les corps emploient, pour les vaincre, une partie de leur mouvement. Quelque grande que ſoit la quantité qu'on leur en aura donnée, comme, par cette raiſon, elle ira toujours en diminuant, il arrivera l'inſtant où il n'en reſtera plus. Le mouvement perpétuel mécanique eſt donc démontré impoſſible ; & ceux qui s'obſtinent à le chercher, & qui multiplient les frais dans cette vûe, perdent leur temps, leurs peines & leurs dépenſes, & prouvent complétement leur ineptie.

II *Loix du Mouvement ſimple.*

111. *Les changemens qui arrivent au mouvement d'un corps, ſont toujours proportionnels à la cauſe qui les produit.*

Une force, quand elle agit, ne peut produire que ce dont elle eſt capable ; & elle produit toujours tout ce dont elle eſt capable, à moins que quelque autre force ne s'y oppoſe. L'effet ſera donc toujours proportionnel à la cauſe. Cela eſt trop ſimple & trop clair, pour mériter une plus ample explication.

III *Loix du Mouvement ſimple.*

112. *La réaction eſt toujours égale à l'action ou à la compreſſion.*

Quand un corps en mouvement, ou qui tend à ſe mouvoir, agit ſur un autre corps, il le

comprime ; & ce dernier exerce réciproquement sur le premier une compression égale. Par exemple, si j'appuie ma main sur un bassin vide de balance, & que je tienne soulevées 10 livres de plomb que je suppose dans l'autre bassin, ma main est autant comprimée que si je recevois sur elle les 10 livres de plomb pour les soutenir. La réaction de ces 10 livres de plomb contre ma main est donc égale à l'action de ma main.

Mais, dira-t-on, si la réaction étoit toujours égale à l'action, jamais un corps n'en pourroit mouvoir un autre : ces deux actions égales & opposées se détruiroient mutuellement ; de là naîtroit l'équilibre. Car comment un corps peut-il en faire avancer un autre, si ce second pousse le premier en sens contraire avec une force égale à celle que le premier emploie à le pousser lui-même ? On doit répondre à cela, que, lorsqu'un corps en pousse un autre, & qu'il le fait avancer, le premier n'emploie qu'une partie de sa force à vaincre la résistance que lui oppose le second, & qu'après avoir surmonté cette résistance, il lui reste encore une autre partie de sa force qu'il peut employer à faire avancer le corps. Comme lorsque, dans l'exemple ci-dessus, je soutiens les 10 livres avec ma main ; ma main n'emploie qu'un effort de 10 livres pour les soutenir : & si je veux les soulever, j'emploie la force qui me reste. Ainsi, quoique les forces soient

inégales, l'action & la réaction ſont toujours égales. La raiſon de cette égalité de l'action & de la réaction dans tous les cas, eſt qu'un corps ne ſçauroit employer un degré de force à ſurmonter la réſiſtance d'un autre corps, ſans en perdre lui-même une quantite égale à celle qu'il y a employée.

CHAPITRE III.

Des causes qui changent la direction du Mouvement.

113. APRÈS avoir traité des causes, absolument inévitables dans la Nature, qui retardent à chaque instant la vîtesse des corps en mouvement, nous allons parler maintenant de celles qui en changent la direction.

Si un corps en mouvement change de direction, c'est qu'il y est forcé par un obstacle : car, suivant la premiere loi (74), il tend à persévérer dans son état. Il y a trois sortes d'obstacles qui peuvent occasionner un changement dans la direction du mouvement des corps. 1°. Un obstacle dans lequel le mobile puisse pénétrer, comme une matiere fluide dans laquelle il puisse s'ouvrir un passage. 2°. Un obstacle impénétrable & fixe, comme une matiere solide, qui oppose au mobile toute sa masse, à cause de la liaison de ses parties, & de son adhérence au terrein sur lequel il est fixé. 3°. Un obstacle, à la vérité, impénétrable au mobile, mais qui en même temps peut être déplacé par le choc.

Changement de direction occasionné par une matiere fluide; ou Réfraction.

114. Ce changement de direction, appelé *Réfraction*, est la déviation que souffre un corps qui passe obliquement d'un milieu dans un autre, plus ou moins résistant que le milieu d'où il sort; de sorte que sa nouvelle direction fait angle avec la premiere au point de contact des deux milieux, & paroît là comme brisée : d'où vient le mot *Réfraction*. Voyons quelles sont les conditions essentielles pour qu'un corps en mouvement souffre cette espece de déviation, & quelle est la cause de la réfraction des corps.

115. Si un mobile passe d'un milieu dans un autre, par exemple, de l'air dans l'eau, ou de l'eau dans l'air, ces milieux n'étant pas également pénétrables pour lui, soit par la différence de leurs densités, soit par quelque autre cause, l'un lui opposera plus ou moins de résistance que l'autre. Ce plus ou moins de résistance qu'il éprouvera de la part du nouveau milieu (que nous appellerons *milieu réfringent*), ne manquera pas de lui faire quitter sa premiere direction, pourvu qu'il y entre obliquement; & c'est-là ce qu'on appelle *Réfraction*. Supposons un grand bassin plein d'eau, dont la coupe soit représentée par ABDC (*fig.* 8). *Fig. 8.* On ne peut diriger vers la surface AC de l'eau

un corps que de deux manieres : ou par une perpendiculaire au plan qui ſépare les deux milieux, comme PF, ou par une ligne plus ou moins oblique à ce même plan, telle qu'une ligne priſe entre PF & CF, pour aboutir au point F : car ſi le corps ſuivoit la ligne CF, ou toute autre ligne qui lui fût parallele, il eſt évident qu'il n'entreroit jamais dans l'eau, & que par conſéquent il ne changeroit point de milieu. Si un corps ſphérique E vient à la ſurface de l'eau par la perpendiculaire PF, l'expérience prouve qu'il continue de ſe mouvoir par F*p*, & par conſéquent qu'il ne ſouffre aucune réfraction. Mais s'il ſuit une ligne oblique, comme *e*F, ſi-tôt qu'il eſt parvenu en F, l'eau, qu'il commence à toucher, devient pour lui un milieu réfringent ; & l'expérience prouve encore qu'au lieu de continuer ſa route en ligne droite, & d'aller de F en G, il reçoit une nouvelle direction, qui fait angle avec la premiere au point F, & qui le porte plus haut que le point G, comme, par exemple, de F en H, en l'éloignant de la perpendiculaire F*p*. Ce mobile ſouffre donc, dans ce cas-là, une réfraction, laquelle l'éloigne de la perpendiculaire au plan qui ſépare les deux milieux.

116. La réfraction ſe feroit en ſens contraire, ſi le mobile paſſoit de l'eau dans l'air, ou en général d'un milieu denſe dans un plus rare, d'un milieu plus réſiſtant dans un moins réſiſtant. Si,

par exemple, il avoit décrit dans l'eau la ligne HF, il ne continueroit point dans l'air son mouvement en ligne droite par la ligne FK; la réfraction qu'il souffriroit au point F, lui feroit prendre une nouvelle direction, & le porteroit à un point plus élevé que le point K, comme, par exemple, en *e*; ce qui l'approcheroit de la perpendiculaire PF.

117. La réfraction dépend donc de deux conditions absolument essentielles, & sans lesquelles elle n'a pas lieu. La premiere est le passage du mobile d'un milieu dans un autre plus ou moins résistant; la seconde est l'obliquité d'incidence de la part du mobile. Si donc le mobile passe obliquement d'un milieu moins résistant dans un plus résistant, il se réfracte en s'éloignant de la perpendiculaire imaginée au plan qui sépare les deux milieux, en faisant son angle de réfraction plus grand que son angle d'incidence. Mais si le mobile passe obliquement d'un milieu plus résistant dans un moins résistant, il se réfracte en s'approchant de la perpendiculaire imaginée au plan qui sépare les deux milieux; en un mot, en faisant son angle de réfraction plus petit que son angle d'incidence.

Voici les faits tels que l'expérience les donne: voyons-en maintenant les raisons.

118. Nous avons dit (115) que, quoiqu'il y ait changement de milieu, s'il n'y a point d'obliquité d'incidence, si le mobile E arrive par la ligne PF

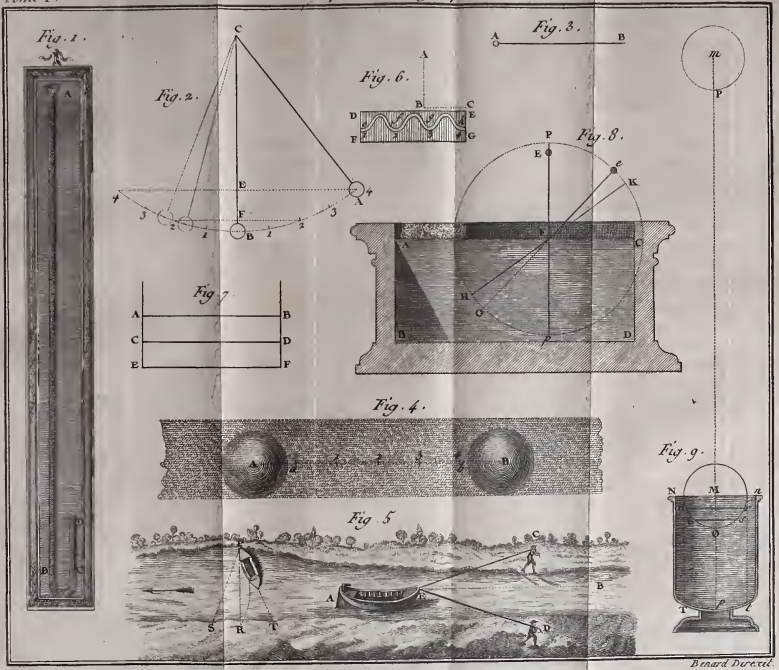
perpendiculaire à la surface AC du milieu réfringent, il n'y a point de réfraction. En voici la raison. Supposons que le mobile M (*fig.* 9.) arrive du point *m* au vase plein d'eau NT*tn* par la ligne P*p* perpendiculaire à la surface N*n* de l'eau. Ce mobile se trouve successivement dans l'air & dans l'eau, & il n'éprouve de résistance de la part de ces milieux, que sur son hémisphere inférieur NO*n*. Tant qu'il est dans l'air (que nous supposons en repos & d'une densité uniforme), les résistances qu'il éprouve d'une part sont compensées par celles qu'il éprouve de l'autre; sa vîtesse est également retardée dans tous ses points: son centre ne doit donc point se détourner de la ligne M*m*. On peut dire la même chose quand on considere le mobile entiérement plongé dans l'eau; seulement la résistance de ce dernier milieu est plus grande que celle du premier; elle retarde davantage la vîtesse du mobile; mais elle ne le détourne point de sa premiere direction, puisqu'elle agit également de toutes parts. On peut encore appliquer le même raisonnement à son passage de l'air dans l'eau: car quand le mobile commence à se plonger, l'eau résiste directement en O, dans une direction qui passe par le centre M: en se plongeant jusqu'en S*s*, les résistances qu'il éprouve de S en O, sont compensées par celles qu'il éprouve de O en *s*: de même, en se plongeant de plus en

Fig. 9.

plus, SR, RN, & leurs correſpondantes *sr*, *rn* participent ſucceſſivement & également à la réſiſtance du nouveau milieu. Ces réſiſtances, de part & d'autre, ſe font donc équilibre; & cet équilibre maintient toujours le centre M dans la ligne P*p*. Ce qui prouve bien que l'obliquité d'incidence de la part du mobile eſt une condition abſolument eſſentielle pour la réfraction; puiſque, ſans elle, le mobile continue ſon mouvement dans ſa premiere direction, quoiqu'il paſſe d'un milieu dans un autre d'une réſiſtance différente.

119. Il n'en eſt pas de même quand le mobile ſe préſente obliquement au plan qui ſépare les deux milieux (115). Suppoſons le mobile M (*fig.* 10.) qui arrive du point *m* à la ſurface de l'eau dans la direction ST oblique à cette ſurface. Tant qu'il eſt tout entier dans l'air, comme en *m*, les obſtacles qui ſe préſentent à ſon hémiſphere antérieur *nop*, agiſſent également de tous les côtés, comme nous l'avons dit ci-deſſus (118). Cette égalité entretient le mobile dans la direction *m*O; mais quand il paſſe de l'air dans l'eau, ce même hémiſphere NOP, pendant tout le temps de ſon immerſion, rencontre des obſtacles plus difficiles à vaincre d'un côté que de l'autre : car le point R venant à toucher l'eau, éprouve plus de réſiſtance que n'en éprouve ſon correſpondant Q, qui ne rencontre encore que de l'air. Or un

Fig. 10.



Benard Direxit

mobile se porte toujours du côté où il trouve moins de résistance. L'équilibre étant rompu entre les obstacles de part & d'autre, le centre M se porte du côté des plus foibles, & commence à s'écarter de sa premiere direction ST. La vîtesse du mobile étant ralentie de plus en plus par son immersion dans l'eau, & le mobile éprouvant toujours plus de résistance dans la partie ORP qu'il n'en éprouve dans la partie correspondante OQN, jusqu'à ce que son hémisphere antérieur NOP soit entiérement plongé, son centre M abandonne de plus en plus sa premiere direction, & descend par une petite courbe MV, dont le dernier élément V commence la nouvelle direction VX; ce qui l'éloigne de la perpendiculaire AB, imaginée à la surface de l'eau, & rend l'angle de réfraction plus grand que l'angle d'incidence.

120. Si le milieu Y dans lequel se meut d'abord le mobile, étoit plus résistant que le milieu Z dans lequel il passe (116), le mobile M éprouveroit alors une moindre résistance dans la partie ORP que dans la partie OQN; la courbe MV seroit tournée en sens contraire; ce qui rapprocheroit la nouvelle direction de la perpendiculaire AB, & rendroit l'angle de réfraction plus petit que l'angle d'incidence.

121. La réfraction est susceptible de plus & de moins; la différence qu'elle produit entre les

angles d'incidence & de réfraction, peut être plus ou moins grande, ſuivant les circonſtances. Ce plus ou moins dépend, 1°. du degré d'obliquité avec lequel le mobile arrive au milieu réfringent; 2°. du degré de denſité de ce milieu réfringent; 3°. de la grandeur du mobile; 4°. de la vîteſſe du mobile.

122. 1°. Nous avons vu (118) que la réfraction eſt nulle, lorſque la direction du mobile eſt perpendiculaire à la ſurface du milieu réfringent: elle commence avec l'obliquité d'incidence (119), & elle augmente avec elle, & proportionnellement à elle. Car, 1°. plus l'obliquité eſt grande, plus la réfraction eſt conſidérable. Si le mobile, au lieu de ſuivre la direction ST pour arriver au milieu réfringent, ſuivoit la direction *st*, plus oblique que la premiere, il ſouffriroit une plus grande réfraction; car, dans ce cas-là, la partie ORP de l'hémiſphere antérieur ſeroit toute entiere plongée dans l'eau, tandis que la partie OQN ſeroit encore toute entiere dans l'air. La différence entre les réſiſtances ſur les parties correſpondantes ſeroit donc plus grande; donc la réfraction augmente avec l'obliquité d'incidence. 2°. Elle augmente auſſi proportionnellement à cette obliquité; car ſi, dans différens cas, nous ſuppoſons le même mobile & les mêmes milieux, quels que ſoient les différens degrés d'obliquité avec leſquels le mobile arrive

arrive au milieu réfringent, il y aura, dans tous les cas, le même rapport entre les angles d'incidence & de réfraction. Par exemple, dans les deux incidences différemment obliques AC & BF (*fig.* 11.), si l'on compare les angles d'incidence ACP & BFD avec les angles de réfraction *a*C*p* & *b*F*d*, lesquels se mesurent par les lignes PA, DB, *ap*, *bd*, qui en sont les sinus, on verra que, si PA est à *ap* comme 2 est à 3, les deux lignes semblables DB & *bd*, qui représentent le cas d'une réfraction plus grande, sont aussi dans le même rapport entre elles : donc, toutes choses égales d'ailleurs, la réfraction augmente proportionnellement à l'obliquité d'incidence. *Fig.* 11.

123. Quand l'incidence est très-oblique, il arrive souvent que le mobile, au lieu de se plonger dans le milieu réfringent, se réfléchit, comme s'il tomboit sur un plan solide. C'est ce qui arrive à un boulet de canon tiré très-obliquement à la surface de l'eau : dans ce cas-là, l'eau lui refuse assez long-temps le passage pour lui donner lieu de continuer son mouvement dans l'air, & il se réfléchit de dessus l'eau, comme il le feroit de dessus un plan solide, & par les mêmes raisons (132). Cela fait voir qu'on ne seroit pas en sûreté, si l'on se trouvoit dans la direction du mouvement réfléchi d'une balle ou d'un boulet qui seroit tiré très-obliquement à la surface de l'eau.

124. 2°. La grandeur de la réfraction dépend encore de la denſité plus ou moins grande du milieu réfringent, toutes choſes étant d'ailleurs égales. Suppoſons le même corps lancé avec le même degré d'obliquité, ſucceſſivement vers différens milieux de denſités différentes : celui de ces milieux qui aura le plus de denſité, occaſionnera la plus grande réfraction. Car la réfraction eſt cauſée, comme nous l'avons prouvé ci-deſſus (119), par la différence de la réſiſtance des deux milieux, chacun ſur la portion de la ſurface antérieure du mobile qui y répond : or cette différence eſt d'autant plus grande, que le milieu réfringent a plus de denſité, celle de l'autre demeurant la même : donc, &c.

125. 3°. La grandeur de la réfraction dépend auſſi de la grandeur du mobile ; car, comme nous venons de le dire (124), la réfraction eſt cauſée par la différence de la réſiſtance des deux milieux, chacun ſur la portion de la ſurface antérieure du mobile qui y répond. Or la réſiſtance du milieu réfringent, de l'eau, par exemple, eſt d'autant plus grande, que ſes parties choquées ſont en plus grand nombre ; & elles ſont en nombre d'autant plus grand, que le mobile a plus de volume. Un mobile, par exemple, ſphérique, arrivant à la ſurface de l'eau, ne la touche pas par un ſeul point ; c'eſt toujours par un ſegment ;

& ce ſegment heurte un nombre de parties d'autant plus grand, qu'il fait lui-même partie d'une ſphere plus grande, qu'il a plus d'étendue avec moins de convexité : il éprouve donc plus de réſiſtance de la part de l'eau ; ce qui occaſionne une plus grande réfraction. En effet, comme c'eſt une plus grande réſiſtance de la part du milieu réfringent qui fait que, dans certains cas, le mobile a un mouvement réfléchi, & non pas réfracté ; auſſi M. l'*Abbé Nollet* a-t-il remarqué qu'une balle de 6 lignes de diametre entroit dans l'eau, quand ſa direction faiſoit un angle de 6 degrés avec la ſurface de l'eau, tandis qu'une plus groſſe, à pareille incidence, étoit réfléchie ; & un boulet de canon l'eſt ſûrement ſous un angle beaucoup plus ouvert : ce qui prouve bien que la réſiſtance devient plus grande, à meſure que la grandeur du mobile augmente.

126. 4°. On doit compter encore que la vîteſſe avec laquelle le mobile arrive à la ſurface du milieu réfringent, influe ſur la grandeur de la réfraction. Car la réſiſtance des milieux n'augmente pas ſeulement comme la vîteſſe avec laquelle on les frappe, mais à peu près comme le quarré de cette vîteſſe (83). La réſiſtance du milieu réfringent eſt donc plus grande, quand il eſt frappé avec plus de vîteſſe ; ce qui augmente la réfraction.

127. Il suit de tout ce que nous venons de dire, que, pour mesurer la réfraction d'un corps, il faut avoir égard à quatre choses : 1°. au degré d'obliquité avec lequel le mobile arrive au milieu réfringent ; 2°. au degré de densité de ce milieu ; 3°. à la grandeur du mobile ; 4°. à la vîtesse avec laquelle il se meut.

Changement de direction occasionné par un obstacle impénétrable & fixe ; ou Réflexion.

128. Ce changement de direction est celui que reçoit un corps en mouvement, lorsqu'il rencontre un obstacle impénétrable pour lui & fixe, lequel l'oblige à rebrousser chemin, & le fait rejaillir après le choc. La véritable cause de ce changement de direction est le ressort des corps : ainsi, si les corps n'avoient point de ressort, il n'y auroit point de réflexion. Il n'y a donc que les corps élastiques qui puissent être susceptibles de ce mouvement réfléchi. Mais tous les corps élastiques ne le sont pas également (32, 33) ; & il n'y en a aucun, si l'on en excepte la matiere de la lumiere & les fluides aériformes, qui le soit parfaitement. Cependant, pour rendre la théorie plus simple, nous supposerons que les corps, ou n'ont point du tout de ressort, ou qu'ils en ont un parfait, & par conséquent qu'ils sont capables d'une réaction parfaite.

129. Si les corps n'ont point de reſſort, il n'y a point de mouvement réfléchi. Faites tomber un corps ſur de la terre molle; ce corps y fera un enfoncement, & perdra tout ſon mouvement. Quand il commence à toucher la terre molle, il a une certaine quantité de mouvement acquis par ſa chûte : c'eſt aux dépens de ce mouvement qu'il déplace une portion de la terre. Il ne doit donc ceſſer de ſe mouvoir que quand les parties, qu'il a rencontrées, ont été portées auſſi loin que l'exigeoit la valeur de ſon effort; parce qu'un corps en mouvement ne peut être réduit au repos que par un obſtacle dont la réſiſtance égale le produit de ſa force. Cette terre, que nous avons ſuppoſée ſans reſſort, n'a donc rien qui puiſſe rendre au mobile le mouvement qu'il a perdu en l'enfonçant : il n'y aura donc point de réflexion.

130. Les corps ſans reſſort, ou qui en ont très-peu, ſont les plus propres à rompre les efforts violens; parce qu'ils retardent par degrés la vîteſſe du mobile, & qu'ils le réduiſent au repos en cedant de plus en moins. Tous les obſtacles qui cédent ainſi, partagent l'effort du mobile, & arrêtent comme en pluſieurs fois une puiſſance qui ne manqueroit pas de les forcer, ſi ſon action étoit réunie dans un temps plus court. Une planche de chêne n'arrête pas une balle de mouſquet : un petit ſac rempli de laine ou de terre

ne manque pas de l'amortir. Un boulet de canon fait peu d'effet sur des matelas suspendus librement en l'air, tandis qu'il perceroit une muraille.

131. Si les corps sont élastiques, alors il peut y avoir un mouvement réfléchi. Supposons donc *Fig. 12.* que l'obstacle DE (*fig.* 12) est un corps dont l'élasticité est parfaite ; & que le corps C est parfaitement dur, & par conséquent non élastique. Le corps C étant porté de F en A avec un certain degré de vîtesse, & dans une direction perpendiculaire à l'obstacle DE, le frappe avec une force résultante de sa masse & de sa vîtesse (63), & y produit l'enfoncement *d*B*e* : le point de contact A est, par cet effort, porté jusqu'en B : ce point A est le premier comprimé, parce qu'il est le premier touché par le mobile C ; & après lui, tous les autres points qui le suivent de part & d'autre, jusqu'aux points *d* & *e*, qui sont les derniers comprimés. Cet effet n'a pas lieu dans un instant indivisible ; il exige un temps fini pour être produit ; &, quoique très-court, ce temps peut être divisé en plusieurs instans. Au premier instant le mobile C exerce contre un très-petit espace de l'obstacle qu'il rencontre, un effort qui est comme sa masse & sa vîtesse actuelle ; en conséquence duquel il déplace les parties qu'il touche : ce déplacement occasionne une résistance qui détruit une portion de la vîtesse du mobile.

Ce mobile en a donc moins au second instant qu'au premier. Mais alors les parties enfoncées donnent lieu au mobile de toucher l'obstacle par une plus grande surface, d'agir sur un plus grand nombre de parties : en outre ces parties condensées par la compression qu'elles ont éprouvées au premier instant, résistent davantage ; ce qui retarde encore plus la vîtesse du mobile. Par les mêmes raisons, elle est encore plus retardée au troisieme instant, & ainsi de suite, jusqu'à ce que le mobile ait consommé tout son mouvement. On voit par-là que la vîtesse du mobile diminue par des quantités qui vont toujours en augmentant. Quand le mobile C a consommé toute sa force, les parties enfoncées *d*B*e*, & que nous supposons parfaitement élastiques, n'étant plus retenues, se rétablissent dans leur premier état : elles repoussent donc le mobile C devant elles, & tendent à le diriger comme elles. La partie B, qui a été enfoncée la premiere, se rétablit aussi avant les autres, & pousse le mobile C dans la direction AF ; direction dont il ne doit pas sortir, parce que ses parties correspondantes, de part & d'autre, obéissent à des réactions semblables. De plus, cette partie B est reportée en A avec une vîtesse égale à celle avec laquelle elle a été déplacée. Sa vîtesse, ainsi que celle du mobile C, qu'elle pousse devant elle, est donc accélérée dans la même proportion

ſuivant laquelle elle a été retardée d'abord : de ſorte que, lorſque, par cette réaction, le mobile C eſt redevenu tangent à la ſurface DE, il a une vîteſſe égale à celle qu'il avoit d'abord en arrivant à cette ſurface ; & par conſéquent une force capable de le porter de A en F dans un temps égal à celui qu'il a employé à venir de F en A. Nous venons de dire que le mobile C arrive à la ſurface DE par une ligne FA perpendiculaire à cette ſurface, & faiſant avec elle un angle droit : par ce que nous venons de dire en dernier lieu, on voit que ce mobile rejaillit par la même ligne ; donc, dans ce cas-là, ſon angle de réflexion eſt égal à celui de ſon incidence.

132. Mais il arrive ſouvent que le mobile tombe obliquement ſur l'obſtacle : alors il change de direction ; il rejaillit par une autre route, parce que ſes parties correſpondantes éprouvent des réſiſtances inégales. Suppoſons que le mobile
Fig. 13. I (*fig.* 13) arrive à la ſurface RS par la ligne oblique TM, faiſant avec cette ſurface l'angle TMS. Suppoſons encore que le mobile I eſt parfaitement dur, & que l'obſtacle RS eſt parfaitement élaſtique. Le mobile I touche l'obſtacle d'abord au point *i* ; ce qui commence à retarder ſa vîteſſe : enſuite, en produiſant l'enfoncement *ip*, que nous ſuppoſons être la valeur de ſon

effort, il touche à chaque instant une plus grande surface, il agit sur un plus grand nombre de parties, & sur des parties de plus en plus résistantes, comme ayant été condensées par la compression qu'elles ont éprouvée dans les premiers instans ; de sorte que sa vîtesse est retardée par des quantités qui vont toujours en augmentant (131); ce qui fait que son centre, au lieu de descendre par une ligne droite, descend par la courbe IM. Quand le mobile a consommé tout son mouvement, les parties enfoncées, n'étant plus retenues, se rétablissent successivement, & selon l'ordre suivant lequel elles ont été comprimées : par-là, la vîtesse du mobile est accélérée en montant dans la même proportion suivant laquelle elle a été retardée en descendant (131); ce qui fait que le centre du mobile remonte par la courbe MP parfaitement semblable à la courbe MI, par laquelle il est descendu. Ainsi, comme l'extrémité I de la ligne TI de son incidence est le commencement de la premiere courbe IM, de même l'extrémité P de la seconde courbe MP est le commencement de la ligne PQ de sa réflexion : ce qui rend l'angle de réflexion QMR parfaitement égal à l'angle d'incidence TMS.

L'égalité de ces angles d'incidence & de réflexion se démontre d'une maniere géométrique, en faisant usage d'un principe que nous emploierons

ci-après (162), savoir, que le mobile qui parcourt la ligne TM, se comporte comme s'il obéissoit à deux puissances, dont une le pourroit faire avancer de la quantité TV, pendant que l'autre le pourroit faire descendre de la quantité TS. Si, lorsqu'il est parvenu en M, une cause quelconque lui ôte toute sa vîtesse de haut en bas, sans rien diminuer de sa vîtesse horizontale, il doit parcourir la ligne MR dans un temps égal à celui qu'il a employé à aller de T en M, parce qu'il n'est plus commandé que par une puissance. Mais au lieu de cette supposition, si, lorsque le mobile est en M, la puissance qui le commande de haut en bas se convertit en une autre puissance d'égale force, mais qui le sollicite à se mouvoir de bas en haut, il sera de nouveau commandé par deux puissances, dont l'une sera MV & l'autre MR; & il suivra la diagonale MQ, qui fait nécessairement, avec le plan RS, un angle égal à celui que fait, avec le même plan, la diagonale TM; puisque ce sont les diagonales de deux parallélogrammes égaux & semblablement placés. Or nous venons de voir ci-dessus (131) que le mouvement de haut en bas se change, à pareil degré, en un autre de bas en haut, & qui lui est directement opposé: donc, &c.

133. Nous avons supposé le mobile parfaitement dur, & nous n'avons eu égard qu'au ressort du plan qui réfléchit. Les mêmes effets auroient

lieu, si le plan étoit parfaitement dur, & que le mobile seul fût élastique : car dans le choc il s'applatiroit ; & les parties comprimées, en se rétablissant, s'appuyeroient sur le plan, & repousseroient le mobile avec une vîtesse égale à celle avec laquelle elles auroient été comprimées, & dans un sens contraire. Il est vrai qu'aucune de ces deux suppositions ne représente la Nature. Il n'y a point de corps parfaitement dur, & tous ont de l'élasticité, peu ou beaucoup (33). Ainsi, toutes les fois qu'il y a réflexion, le mobile & l'obstacle y ont tous deux part, chacun suivant son degré d'élasticité.

134. On a mis en question, s'il y a quelques momens de repos entre l'incidence & la réflexion. Quelques Physiciens ont été pour l'affirmative ; & d'autres pour la négative. Pour décider cette question, il faut savoir comment chacun l'a entendue. Il est certain qu'un corps à ressort qui vient frapper un plan, se bande & s'applatit peu à peu en changeant de figure, & consomme petit à petit tout le mouvement qu'il avoit, & qu'il emploie à bander son ressort. Quand une fois le ressort est totalement bandé, & que le corps a perdu tout son mouvement, le ressort se débande aussi-tôt, sans qu'il y ait d'intervalle entre le commencement du débandement & la fin du bandement. En effet, quelle seroit la cause

qui feroit que le reſſort reſteroit bandé lorſque le mouvement du corps eſt entiérement ceſſé, & que rien ne s'oppoſe au débandement du reſſort? Il ſe débandera donc auſſi-tôt, & rendra par degrés au corps tout le mouvement qu'il avoit perdu, préciſément comme un pendule qui retombe après avoir, en montant, conſommé tout ſon mouvement (258). Il n'y aura donc point d'intervalle entre la fin du bandement, qu'on peut regarder comme le terme de l'incidence, & le commencement du débandement, qu'on peut regarder comme le premier moment de la réflexion. Mais ſi on veut prendre pour le moment d'incidence celui où le corps vient à toucher le plan, & pour le moment de réflexion celui où le corps quitte entiérement le plan, il eſt évident qu'il y aura un intervalle de temps fini, quoique très-court, entre l'incidence & la réflexion; ſavoir, le temps que le reſſort met à ſe bander & à ſe débander.

135. De tout ce que nous venons de dire, il s'enſuit que le reſſort eſt la cauſe néceſſaire de la réflexion; & que la direction du mouvement réfléchi eſt telle que l'angle de réflexion ſeroit toujours égal à l'angle d'incidence, ſi la réaction étoit parfaite. Mais comme c'eſt-là le cas le plus rare, on ne doit pas s'attendre ordinairement, dans la pratique, à avoir des effets bien conformes à

la théorie. Communément l'angle de réflexion eſt plus petit que l'angle d'incidence ; non ſeulement parce que le reſſort n'eſt pas parfait, mais encore parce que la peſanteur du mobile & la réſiſtance de l'air détruiſent une partie des effets. Il n'y a que dans les mouvemens de la lumiere (1218) & des fluides aériformes (1019), où ces angles ſe trouvent parfaitement égaux. Mais quoique cette égalité d'angles n'ait preſque jamais lieu, on voit pourtant qu'elle eſt une regle établie par la Nature, & fondée ſur des loix connues.

Les jeux de paume & de billard ſont preſque entiérement fondés ſur les regles du mouvement réfléchi, que nous venons d'établir.

Changement de vîteſſe & de direction occaſionné par un obſtacle impénétrable, & qui peut être déplacé ; ou Choc des corps.

136. Ce changement de vîteſſe & de direction eſt ce qui arrive à un corps qui en choque un autre, qui peut être déplacé. C'eſt au moyen de ce choc que le mouvement ſe communique du corps choquant au corps choqué ; & le déplacement de ce dernier va nous faire connoître les regles ſuivant leſquelles le mouvement ſe communique de l'un à l'autre. Quant à la raiſon métaphyſique du paſſage du mouvement d'un corps

à un autre, nous devons avouer de bonne foi notre ignorance sur la cause premiere. Ainsi nous ne nous occuperons point de cette question. Nous allons examiner seulement les changemens dont sont susceptibles le mobile & l'obstacle, quand ce dernier peut être déplacé par le choc.

137. Nous pouvons considérer ici deux sortes de corps : les uns mous & sans ressort, ou réputés tels (33) ; & les autres élastiques. L'élasticité de ces derniers change les résultats des loix établies par la Nature. Pour bien faire connoître ces loix, nous devons supposer ici des choses qui n'existent pas ; savoir, 1°. que les corps qui se choquent, se meuvent ou dans le vide ou dans un milieu non résistant, & qu'ils n'éprouvent aucun frottement. 2°. Que ces corps ou ont un ressort parfait, ou n'en ont point du tout. De sorte que, dans la pratique, l'effet ne répond jamais exactement à ce qu'exige la loi.

138. Il y a deux sortes de chocs des corps ; savoir, le choc direct, & le choc oblique. Le premier a lieu quand la direction des mouvemens des corps passe par leurs centres de gravité : & le second a lieu quand cette direction n'y passe pas : l'un & l'autre ont des regles particulieres ; mais celles du choc direct sont bien plus aisées à déduire que celles du choc oblique ; parce que, dans ce dernier, il y a plusieurs causes qui

influent sur le résultat : & l'on ne peut bien en connoître l'effet, qu'autant qu'on connoît toutes les causes qui y contribuent. Pour ne pas trop compliquer la question, nous ne traiterons ici que du choc direct.

139. Quand deux corps vont se choquer, ou l'un des deux est en repos, ou tous deux sont en mouvement : s'ils se meuvent tous deux, ou ils se meuvent du même sens ou en sens contraire, avec des vîtesses égales ou inégales. Mais avant que ces deux corps se choquent, il y a entre eux un intervalle, qu'il faut qui soit parcouru, ou par un seul ou par les deux, sans quoi il ne peut y avoir de choc. Cet espace ne peut être parcouru que dans un temps fini ; & la durée de ce temps mesure la vîtesse respective (62) de ces deux corps ; c'est-à-dire, la vîtesse avec laquelle ces deux corps se joignent, soit que l'un des deux soit en repos, soit qu'ils se meuvent tous deux, en même sens ou en sens contraires, avec des vîtesses égales ou inégales.

140. La vîtesse respective étant connue, il faut considérer les masses ; car le corps choqué oppose son inertie au corps choquant ; & nous avons vu ci-devant (41) que cette résistance est toujours proportionnelle à la masse. Ainsi, plus un corps a de masse, moins il reçoit de vîtesse de la part d'un choc déterminé.

Nous allons parler d'abord du choc des corps non élaſtiques, ou réputés tels : & enſuite du choc des corps élaſtiques, auxquels nous ſuppoſons une élaſticité parfaite.

Choc des corps non élaſtiques.

141. I REGLE. *Quand un corps en repos eſt choqué par un autre corps, la vîteſſe du corps choquant ſe partage entre les deux, ſelon le rapport des maſſes.* C'eſt-à-dire qu'après le choc les deux corps ſe meuvent dans la direction du corps choquant ; & la vîteſſe commune de ces deux corps eſt d'autant moindre, que le corps choqué a plus de maſſe. Si les deux corps ſont égaux en maſſe, la vîteſſe commune de ces deux corps, après le choc, eſt la moitié de celle qu'avoit le corps choquant avant le choc. Si le corps choquant a une maſſe double de celle du corps choqué, la vîteſſe commune, après le choc, eſt les deux tiers de celle du corps choquant avant le choc. Si le corps choqué a une maſſe double de celle du corps choquant, la vîteſſe commune, après le choc, n'eſt plus que le tiers de celle du corps choquant avant le choc ; &c. En effet, après le choc, les deux corps réunis ſont comme une ſeule maſſe : ſuppoſons-les de maſſes égales, & peſant chacun une livre ; une force capable de tranſporter, par exemple, à dix pieds, dans

un

un temps donné, une masse d'une livre, ne peut porter qu'à cinq pieds une masse double en pareils temps; & ainsi de tous les autres cas qu'on pourra supposer.

142. Il faut bien remarquer ce qui suit. Dans l'instant du choc il se fait un applatissement aux deux corps, lequel, étant causé par la résistance du corps choqué, est d'autant plus considérable, que ce corps choqué a plus de masse; car, dans ce cas-là, il résiste davantage (41). Pour rendre raison de ces applatissemens, il faut faire attention que les effets les plus prompts, & qui nous paroissent instantanés, ne sont jamais produits que dans un temps fini, c'est-à-dire, dans un temps dont la durée n'est pas la plus courte qu'on puisse imaginer. Lorsque les deux corps commencent à se toucher, les parties les plus avancées du corps choquant, celles qui choquent les premieres, ont déjà perdu une partie de leur vîtesse, pendant que le centre & les parties les plus reculées ont encore toute la leur. Ce n'est donc qu'après quelques instans, fort courts à la vérité, que cette masse ralentie prend une vîtesse également retardée dans toutes ses parties. Mais les parties d'un corps ne peuvent pas se mouvoir plus vîte les unes que les autres, sans que leur position relative, & par conséquent la figure du corps, soit changée. L'applatissement de ce corps est donc un

effet & une preuve de sa vîtesse retardée successivement en plusieurs temps. On peut dire la même chose du corps choqué : il ne passe pas tout en un même instant de son état de repos au degré de vîtesse qu'il acquiert ; les parties immédiatement exposées au choc se meuvent plutôt que le reste ; ce qui occasionne encore un applatissement & un changement de figure. Et, comme nous venons de le dire, ces applatissemens sont d'autant plus considérables, que les corps ont plus de masse.

143. Puisque, suivant la premiere regle (141), la vîtesse diminue à proportion que la masse du corps choqué augmente, il s'ensuit que le mouvement doit être insensible après le choc, quand le corps choqué est infiniment plus grand que le corps choquant. C'est en effet ce qui arrive ; car, par exemple, un boulet de canon, qu'on a tiré contre un rempart, paroît avoir perdu tout son mouvement : la vîtesse qu'il conserve alors, est à celle qu'il a communiquée, comme sa masse est à celle du rempart. On a tiré de ce principe une conséquence qui ne paroît pas exacte, qui est, que la plus grosse masse est toujours déplacée par le choc de la plus petite. Cela pourroit être vrai, si la masse choquée étoit absolument inflexible ; mais ne l'étant pas, sa résistance sera assez durable pour consumer toute la vîtesse de la petite masse,

par l'introceſſion des parties occaſionnée par le choc, & qui produit l'applatiſſement (142).

144. IIe. REGLE. *Quand deux corps qui ſe meuvent du même ſens avec des vîteſſes inégales viennent à ſe choquer, ſoit que leurs maſſes ſoient égales ou non, ils continuent de ſe mouvoir enſemble & dans leur premiere direction, avec une vîteſſe commune, moins grande que celle du corps choquant, mais plus grande que celle du corps choqué avant la percuſſion.* Quand le corps qui a le plus de vîteſſe rencontre celui qui en a moins, la lenteur de l'un fait obſtacle à l'autre : mais cet obſtacle étant mobile, l'excès de vîteſſe de l'un ſur l'autre doit, ſelon la premiere regle (141), ſe partager entre les deux ſuivant le rapport des maſſes. Car ſuppoſons qu'on ôtât à l'un & à l'autre de ces deux corps une quantité de vîteſſe égale à celle du plus lent avant le choc, ce dernier, avant d'être choqué, ſeroit en repos ; & la vîteſſe du plus vîte ne ſeroit que ce dont elle excédoit la vîteſſe du plus lent. Ce ſeroit abſolument le cas de la premiere regle ; ce ſeroit un corps en repos choqué par un autre, dont la vîteſſe doit ſe partager entre les deux ſuivant le rapport des maſſes. Que l'on rende maintenant à chacun de ces corps la quantité de vîteſſe que nous avons ſuppoſé qu'on leur a ôtée, ce ſera pour le corps choqué ſa premiere vîteſſe, plus celle qu'il a acquiſe par

le choc ; & pour le corps choquant, ſa premiere vîteſſe, moins celle qu'il a donnée au corps choqué. Suppoſons, par exemple, deux corps A & B égaux en maſſes : qu'on donne à A 8 degrés de vîteſſe, & à B 4 ſeulement : A, en choquant B, lui donnera 2 degrés de vîteſſe, moitié de ſon excès ; & tous deux s'en iront avec une vîteſſe commune de 6 degrés. Qu'on ait donné à chacun 4 degrés de vîteſſe de moins que nous n'avons ſuppoſé, A n'en auroit que ce qui faiſoit ſon excès, ſavoir 4 degrés ; & B ſeroit en repos. Voilà le cas de la premiere regle. Rendez à chacun ces 4 degrés, ce ſera pour B, corps choqué, 4 degrés de vîteſſe premiere, plus 2 degrés acquis par le choc ; & pour A, corps choquant, 8 degrés de vîteſſe premiere, moins 2 degrés donnés au corps choqué. Il eſt donc évident que, dans tous les cas, la vîteſſe propre du corps choqué eſt toujours augmentée, & celle du corps choquant toujours diminuée, & cela toujours ſuivant le rapport des maſſes. Donc, &c.

145. IIIe. REGLE. *Si les deux corps qui doivent ſe choquer, ſe meuvent en ſens directement contraire, le mouvement périt dans l'un & dans l'autre, ou du moins dans l'un des deux ; s'il en reſte après le choc, les deux corps vont du même ſens ; & la quantité de leur commun mouvement eſt égale à l'excès de l'un des deux ſur l'autre, avant le choc.* C'eſt-à-dire, que ſi les

deux corps ont des quantités égales de mouvement, le mouvement périt dans l'un & dans l'autre, & tous deux sont réduits au repos. Si l'un des deux a plus de mouvement que l'autre, il ne reste de mouvement, après le choc, que l'excès du plus grand sur le plus petit; ce qui fait le mouvement commun des deux corps. Et comme la quantité du mouvement d'un corps résulte de sa masse multipliée par sa vîtesse (63), il s'ensuit que, si deux corps viennent se heurter avec des vîtesses qui soient en raison inverse des masses, ils sont tous deux réduits au repos; parce qu'ils se choquent avec des quantités égales de mouvement. L'effort d'un mobile peut donc croître, non seulement par la vîtesse, mais encore par la masse: c'est pourquoi il arrive souvent qu'un joueur de paume, pour augmenter sa force, demande une raquette plus lourde; parce qu'en la faisant mouvoir avec la même vîtesse, elle frappe la balle plus fort, si elle a plus de masse.

On voit, d'après ce que nous venons de dire du choc des corps non élastiques,

146. 1°. Que, lorsqu'après le choc, les directions des mouvemens des corps qui se heurtent, sont dans le même sens, il existe alors dans les deux corps réunis, une quantité de mouvement égale à celle qui subsistoit dans l'un des deux ou dans tous les deux, avant le choc.

147. 2°. Que, quand les directions des mouvemens de ces corps sont en sens contraires, il périt du moins une partie du mouvement, s'il ne périt pas tout; & que, s'il en reste après le choc, la quantité qui en demeure, est égale à la différence des deux quantités avant le choc.

Choc des corps élastiques.

148. Dans tout ce que nous avons dit touchant le choc des corps non élastiques, nous avons toujours observé deux effets principaux; savoir, 1°. une communication de mouvement du corps choquant au corps choqué; 2°. un changement de figure, ou un applatissement à l'un & à l'autre à l'endroit du contact. Ces deux effets ont, pour cause commune, le choc ou la percussion : c'est par cette action que la vîtesse se transmet & se distribue uniformément entre les deux masses; & pendant cette répartition, les figures changent, par les applatissemens qui sont produits par l'inertie des masses (41).

149. Dans le choc des corps élastiques, la Nature suit précisément les mêmes loix : mais comme les parties enfoncées par le choc se rétablissent, ce dernier effet qui se mêle à celui du mouvement communiqué, apporte beaucoup de changement aux résultats.

150. Nous distinguerons donc ici deux sortes

de mouvemens ; l'un, qui eſt indépendant du reſſort, & que nous nommerons *Mouvement primitif* ; l'autre, qui naît de la réaction des parties applaties ou comprimées par le choc, & que nous appellerons *Mouvement de reſſort*, ou ſimplement *Réaction*, qui double toujours le mouvement communiqué.

151. Ire. REGLE. *Quand un corps à reſſort va frapper un autre corps à reſſort qui eſt en repos, ou qui ſe meut du même ſens que lui, celui-ci, après le choc, ſe meut dans la direction du corps qui l'a frappé, avec une vîteſſe compoſée de celle qui lui a été donnée immédiatement ou par communication, & de celle qu'il acquiert par ſa réaction après le choc : & le corps choquant, dont le reſſort agit en ſens contraire, perd, en tout ou en partie, ce qu'il avoit gardé de ſa premiere vîteſſe : & ſi ſon mouvement de reſſort excede le reſtant de ſa vîteſſe premiere, il rétrograde ſuivant la valeur de cet excès. Et dans tous les cas, la vîteſſe reſpective eſt, après le choc, la même qu'elle étoit auparavant.* Pour bien faire entendre cette regle, ſuppoſons d'abord un des corps en repos : 1°. Si les deux corps ont des maſſes égales, par le choc, le corps en repos recevra, tant par communication que par réaction, une quantité de mouvement égale à celle qu'avoit l'autre avant le choc : & ce dernier ſera réduit

au repos, par son ressort qui détruira le reste de sa vîtesse primitive. 2°. Si les masses sont inégales, & que le corps choqué en ait le moins, tous deux, après le choc, iront dans la direction du corps choquant, mais ce dernier aura moins de vîtesse que l'autre. 3°. Si les masses étoient encore inégales, le corps choqué en ayant le plus, ce corps choqué iroit seul dans la direction du corps choquant, & ce dernier rétrograderoit. Supposons maintenant que les deux corps se meuvent du même sens : après le choc, tous deux iront encore du même sens, mais le corps choquant moins vîte ; à moins que le corps choqué n'ait beaucoup plus de masse que le choquant, auquel cas ce dernier rétrogradera. Et dans tous les cas, la vîtesse respective (62) sera, après le choc, la même qu'elle étoit auparavant.

152. On verra la raison de tous ces effets, si l'on fait attention que dans le choc des corps à ressort, comme dans celui des corps sans ressort, le mouvement du corps choquant, ou l'excès du mouvement de ce corps sur celui du corps choqué se communique à ce dernier suivant le rapport des masses. Mais il faut ajouter à cela, 1°. que la réaction double toujours, dans le corps choqué, la quantité de mouvement que celui-ci acquiert par communication : 2°. que cette même réaction tend, avec autant de force, à repousser

le corps choquant en arriere, & lui fait perdre, dans sa premiere direction, autant de mouvement qu'il en a déjà perdu par le choc. De sorte que, dans tous les cas, le corps choquant perd une quantité de mouvement égale à celle que reçoit le corps choqué. Ainsi la réaction double toujours ces deux effets : elle double le mouvement communiqué au corps choqué ; & elle double la perte que fait le corps choquant.

153. IIe. REGLE. *Quand deux corps à ressort, égaux ou inégaux en masses, viennent, en sens contraire l'un de l'autre, se heurter avec des vîtesses propres, qui soient égales ou inégales ; après le choc ils se séparent, & leur vîtesse respective est la même qu'avant le choc.* Si ces deux corps étoient sans ressort, ou ils s'arrêteroient réciproquement, ou l'un des deux emporteroit l'autre, comme nous l'avons dit ci-devant (145). Ils se séparent donc en vertu de leur réaction : mais cette réaction est égale à la compression causée par le choc (112) ; & la compression est comme la vîtesse respective avant le choc : la vîtesse qui en résulte après le choc, doit donc être semblable. L'article ci-dessus (152) fera encore sentir la raison de tous ces effets.

154. A l'égard des corps élastiques, & dont le ressort seroit parfait, l'expérience prouve, 1°. que quand deux corps qui vont dans le même

ſens, ou dont l'un eſt en repos, ſe choquent de façon qu'après le choc ils aillent encore dans le même ſens, ou que l'un des deux reſte en repos, la ſomme des mouvemens eſt la même après comme avant la percuſſion.

155. 2°. Que ſi l'un des deux corps retourne en arriere, la quantité du mouvement ſe trouve plus grande après qu'avant le choc. Il y a plus; c'eſt que la quantité du mouvement du corps choqué excede même celle du mouvement primitif, avant le contact: & cet excès de mouvement dans le corps choqué, égale la quantité de celui qui rétrograde après le choc.

156. 3°. Que quand les deux corps viennent ſe heurter en ſens contraires, après le choc, la ſomme des mouvemens n'eſt jamais plus grande qu'avant le choc: elle peut même être moindre; auquel cas la perte eſt égale à la quantité que l'un des deux corps gagne.

157. Si l'on veut voir par expérience l'énoncé des regles que ſuivent les corps dans leur choc, que je ſuppoſe toujours être le choc direct (138), il faut avoir ſoin de ſe ſervir de corps ſphériques, & que leurs centres de gravité ſe trouvent dans la direction de leur mouvement.

158. Il faut obſerver qu'on ne doit point eſtimer l'impulſion des fluides ſuivant les regles que nous venons d'établir touchant le choc des corps ſoli-

des; parce que ces derniers, étant composés de parties qui ont entre elles une forte adhérence, agissent selon toute leur masse & leur vîtesse actuelle. Il n'en est pas de même de l'action des fluides : vu la mobilité respective de leurs parties, il n'y a que celles qui choquent l'obstacle qui fassent effort ; les autres ne perdent point leur vîtesse, & par conséquent ne contribuent point à cet effort. C'est pourquoi l'eau & le vent ne communiquent pas tout de suite leur vîtesse à un mobile; ce n'est qu'après un certain temps que ce mobile reçoit tout le mouvement qui peut lui être transmis. C'est ce dont on peut se convaincre, en observant les ailes d'un moulin à vent, ou la roue d'un moulin à l'eau, quand elles commencent à se mouvoir.

CHAPITRE IV.

Des Loix du Mouvement composé.

159. LE mouvement composé (68) a ses loix, comme le mouvement simple : elles peuvent toutes se rapporter à une seule, & dont elles ne sont que des conséquences. Voici cette loi.

Loi du Mouvement composé.

160. *Quand un corps est sollicité au mouvement par plusieurs puissances qui agissent en même temps & selon différentes directions, ou il demeure en équilibre, ou bien il prend un mouvement qui suit le rapport des puissances entre elles pour la vîtesse ; & il reçoit une direction moyenne entre celles des puissances auxquelles il obéit.*

Quand les puissances qui agissent ensemble ont des directions diamétralement opposées, ou elles ont des forces égales, ou elles ont des forces inégales : dans le cas d'égalité, le mobile demeure en équilibre. Si leurs forces sont inégales, le mobile obéit à la plus forte, non pas suivant toute sa valeur, mais seulement suivant la valeur de son excès sur l'autre ; parce que la plus foible

détruit en l'autre une force égale à la sienne : il ne reste donc à la plus forte que son excès pour agir sur le mobile. Ainsi, lorsque les puissances sont directement opposées, il en résulte ou le repos, ou le mouvement simple, mais retardé. Mais si les puissances ne sont qu'obliquement opposées, c'est-à-dire, si leurs directions se croisent, ou font angle au mobile, alors le mouvement se compose en vîtesse & en direction.

Le mouvement composé peut se faire, ou en ligne droite, ou en ligne courbe. Voyons quelles sont les conditions nécessaires pour l'un ou l'autre de ces mouvemens.

Mouvement composé en ligne droite.

161. Le mouvement composé se fait toujours en ligne droite, quand le mobile obéit à des puissances qui persévérent dans le même rapport entre elles, soit qu'elles ne reçoivent aucun changement, soit que les changemens soient égaux ou proportionnels de part & d'autre; parce qu'alors les effets de chaque instant se rencontrent tous dans la même direction. Supposons donc ces rapports constans.

162. La vîtesse & la direction d'un corps qui se meut d'un mouvement composé, se mesurent par la diagonale d'un parallélogramme, dont deux des côtés représentent les puissances. Supposons

Fig. 14. que le mobile M (*fig.* 14) ſoit tiré en même temps par deux forces, repréſentées par les deux lignes MC, MG, qui ſont angle enſemble au mobile M : la diagonale MI du parallélogramme MGIC, dont ces deux lignes MC, MG, ſont deux côtés, meſure la vîteſſe & détermine la direction que prendra le mobile M en vertu de ces deux forces. Car ſuppoſons MC une regle mobile, ſur laquelle le mobile M deſcend avec une vîteſſe uniforme, de M en C, en ſix inſtans égaux; tandis que la regle MC avance parallélement à elle-même, avec une vîteſſe uniforme, de M en G, en ſix inſtans égaux aux premiers : il eſt clair qu'à la fin du premier inſtant le mobile M ſera deſcendu en A; & la regle MC ſera avancée en K : donc alors le point A & le mobile M, qui y eſt parvenu, ſe trouveront au point *a*. A la fin du ſecond inſtant le mobile M ſera deſcendu en B; & la regle MC ſera avancée en L : le mobile, deſcendu en B, ſe trouvera donc au point *b*. Par la même raiſon, à la fin du troiſieme inſtant le mobile M ſera en *d* : à la fin du quatrieme inſtant il ſera en *e*, &c. Enfin, après les ſix inſtans écoulés, le mobile M ſera en I, après avoir parcouru ſucceſſivement tous les points de la diagonale MI; & il ſera arrivé, mais par un chemin plus court, aux termes des deux tendances; car le mobile M, arrivé en I,

fera descendu de la quantité GI égale à MC, & avancé de la quantité CI égale à MG.

163. Cette diagonale, qui marque la vîtesse du mobile, est plus ou moins longue avec des puissances de même valeur, suivant que les directions de ces puissances sont entre elles des angles plus ou moins aigus. Si l'angle qu'elles forment est droit, elles ne se nuisent ni ne s'entr'aident : le mobile est porté aussi loin que l'exige chacune des puissances. Ainsi le mobile M (*fig.* 15) étant commandé par les deux puissances MA, MB, qui font entre elles l'angle droit AMB, suivra la diagonale MC. Mais si la puissance MB étoit placée en MD, & faisoit avec l'autre puissance l'angle obtus AMD, la diagonale, que suivroit le mobile M, seroit ME plus courte que MC. Si, au contraire, la puissance MB se plaçoit en MF, & faisoit avec la puissance MA l'angle aigu AMF, la diagonale, que suivroit le mobile M, seroit MG plus longue que MC : & cette diagonale s'alongeroit de plus en plus, si l'angle, que forment ensemble les directions des puissances, devenoit de plus en plus aigu. *Fig.* 15.

164. La diagonale, comme nous l'avons dit ci-dessus (162), détermine encore la direction que prendra le mobile. Si les deux puissances sont égales, comme MG, MC (*fig.* 14), la *Fig.* 14.

diagonale MI est également inclinée à l'une & à l'autre, & fait de part & d'autre, avec la direction de chacune de ces puissances, des angles égaux. Mais si les puissances sont inégales, comme
Fig. 15. MA, MB (*fig.* 15), la diagonale est plus inclinée à la plus grande des deux puissances, & fait, avec la direction de la plus grande, l'angle AMC plus petit que l'angle CMB, qu'elle forme avec la direction de la plus petite.

165. Il suit de ce que nous venons de dire, que, si l'on connoît l'angle de direction des puissances & leur degré de force, il sera aisé de connoître l'effet qu'elles doivent produire sur le mobile, c'est-à-dire, son degré de vîtesse & la direction qu'il doit prendre : car en exprimant la valeur des puissances & leurs directions par des lignes, par exemple, MA & MD, qui se joignent au point M, & en établissant un parallélogramme sur ces deux lignes, qui en représentent deux côtés, la diagonale ME donnera ce que l'on cherche.

166. Il suit encore que, si l'on connoît l'effet commun de deux puissances sur un mobile, & la direction & le degré de force de l'une des deux, on pourra juger de la valeur & de la position de l'autre. Si je sais, par exemple, qu'un mobile M a été porté de M en G, par l'action de deux forces, dont une est exprimée par MA;

je

je tire du point A au point G la ligne AG : & je suis sûr que l'autre puissance sera représentée par une ligne MF, tirée du point M, parallele & égale à AG.

167. Pour que le mouvement se compose, il n'est point nécessaire que les puissances continuent d'agir pendant toute la durée du mouvement. Deux forces une fois imprimées (comme, par exemple, deux coups de marteau) par des causes qui cessent ensuite d'agir, produisent le même effet, & composent le mouvement du mobile, comme si leurs actions étoient continues. C'est pour cette raison que ce que l'on jette par la portiere d'un carrosse qui roule actuellement, n'arrive jamais à l'endroit où la main le lance. Car outre l'impulsion de la main, il y a de plus le mouvement de la voiture, qui est commun au mobile & à la main, & qui fait une seconde puissance, dont la direction se croise avec celle que la main donne au mobile : ce mobile doit donc suivre la diagonale d'un parallélogramme, dont ces deux puissances représentent deux côtés. Il suit de là que, si l'on vouloit sauter par la portiere d'un carrosse, dont les chevaux auroient pris le mors aux dents, & qu'il se trouvât là un petit tas de boue, un moyen sûr de n'y pas tomber, seroit de tendre à se jeter dedans.

Mouvement composé en ligne courbe.

168. Le mouvement composé se fait toujours en ligne droite, comme nous l'avons dit ci-dessus (161), quand le mobile obéit à des puissances qui persévérent dans le même rapport entre elles. Il n'en est pas de même si le rapport des puissances change; si, par exemple, de deux puissances, l'une devient ou plus forte ou plus foible qu'elle n'étoit, tandis que l'autre ne change pas; ou si, changeant toutes deux, elles ne changent pas proportionnellement. Dans ces cas-là, le produit de chaque instant est bien une ligne droite; car tous les corps commencent toujours à se mouvoir ainsi (74): mais chacune de ces lignes droites a sa direction particuliere, qui change à chaque instant selon le changement de rapport des puissances. Supposons que le mobile M (*fig.* 16) soit sollicité à se mouvoir en même temps par deux puissances représentées par les deux lignes MF, M*6*: que la puissance MF soit uniforme, c'est-à-dire, qu'elle tende à faire parcourir au mobile M des espaces égaux en temps égaux, comme MA, AB, BC, &c., & que la puissance M*6* soit accélératrice, c'est-à-dire, qu'elle tende à faire parcourir au mobile M, en temps égaux, des espaces qui augmentent de plus en plus, comme M 1; 1, 2; 2, 3, &c.

Fig. 16.

Si nous faisons ici l'application de ce que nous avons dit ci-dessus (162), nous verrons que le mobile M parcourra dans le premier instant la diagonale M*a*; dans le second, la diagonale *ab*; dans le troisieme, la diagonale *bc*; dans le quatrieme, la diagonale *ed*, &c. Mais chacune de ces diagonales a une direction différente de celles des diagonales qui la précedent : & si nous les prenions infiniment courtes, en supposant les instans infiniment petits, leur suite formeroit la courbe M*abcdef*. Tels sont à peu près les mouvemens de tous les corps graves projetés hors de la perpendiculaire à l'horizon : tels sont une pierre qu'on lance avec la main, une bombe, un boulet, &c. l'impulsion qu'on leur donne est une force dont l'action est, de sa nature, égale dans tous les instans; & leur pesanteur est une puissance dont l'action augmente de plus en plus (216). Le corps projeté décrit donc une ligne courbe, qui suit la nature du changement de rapports de ces deux puissances.

169. Tout le monde est convaincu de la courbure de cette ligne relativement à la pierre & à la bombe que nous venons de donner pour exemple (168). Il n'en est pas de même du boulet; on est porté à croire qu'il arrive au but par une ligne droite : & ce qui le fait croire est que la vîtesse qui lui vient de l'impulsion de la pou-

dre, eſt infiniment plus grande que celle qui lui vient de ſa peſanteur ; de ſorte qu'il deſcend peu en comparaiſon de la quantité dont il avance. Mais il ſuffit d'obſerver la maniere dont le canon eſt conſtruit, pour ſe convaincre que le boulet arrive au but par un mouvement vraiment compoſé. Ce boulet eſt, comme nous venons de le dire, expoſé à l'action de deux puiſſances ; l'une qui eſt l'impulſion de la poudre enflammée, & l'autre qui eſt ſa peſanteur. La premiere eſt uniforme ; & l'autre accélératrice. Auſſi-tôt que le boulet eſt hors du canon, non ſeulement il avance dans la direction de l'impulſion qu'il a reçue, mais encore il deſcend en obéiſſant à l'action de ſa peſanteur, qui eſt capable de le faire tomber de 15 pieds dans la premiere ſeconde, de 45 pieds dans la ſuivante, &c. (216). Si donc le canon étoit extérieurement cylindrique, comme l'eſt ſa cavité ; la ligne de mire ſeroit parallele à la direction que reçoit le boulet en ſortant. Et, comme le boulet deſcend auſſi-tôt qu'il eſt ſorti, il faudroit diriger le canon vers un point plus élevé que le but que l'on veut atteindre. Or il ſeroit très-difficile d'eſtimer au juſte la quantité dont il faudroit pour cela relever le canon. Mais le canon ayant extérieurement une forme conique, eſt plus épais vers la culaſſe que vers ſon embouchure ; ce qui fait que la ligne de mire AB (*fig.* 17) *Fig.* 17.

& la véritable direction DE du boulet se croisent en chemin, & font en C un angle d'autant plus ouvert, que la différence entre l'épaisseur qu'a le canon vers la culasse & celle qu'il a vers son embouchure, est plus considérable. De sorte que, lorsqu'on croit diriger le boulet en B, on le dirige vraiment en E : & si la distance qu'il y a de E à B est égale à la quantité dont le boulet descend, pendant le temps qu'il est en chemin, il arrive au but aussi sûrement que s'il y étoit venu par une ligne parfaitement droite. Pour cela il faut que l'on tire à une distance convenable, que l'impulsion de la poudre soit proportionnée au poids du boulet ; & que l'angle C, formé par la ligne de mire AB & la vraie direction DE du boulet, que l'on peut regarder comme le prolongement de l'axe du canon, soit dans une bonne proportion ; c'est-à-dire, que l'écartement du point E au point B, soit de 15 pieds à la distance de 200 toises, qui est celle que le boulet parcourt dans la premiere seconde. Alors l'effort de la pesanteur fera descendre le boulet de la quantité EB ; & l'on touchera par un mouvement vraiment composé, le but qu'on s'est proposé d'atteindre.

170. Ceci peut encore rendre raison d'un fait, qui paroît d'abord singulier, & auquel on ne s'attendroit pas si l'on n'y faisoit pas réflexion. Ce

fait eſt qu'un Mouſſe qui ſe laiſſe tomber du haut en bas de la hune, pendant que le vaiſſeau eſt à la voile, tombe au pied du mât & non pas dans la mer, quoique dans le moment qu'il atteint le pont, le vaiſſeau ſoit déjà bien loin de l'endroit où le Mouſſe a commencé à tomber. C'eſt que ce Mouſſe tombe par une ligne courbe, & non pas par une ligne verticale. A la vérité cette ligne paroîtroit verticale à ceux qui ſeroient ſur le vaiſſeau; mais on en appercevroit bien la courbure, ſi l'on étoit ſur le rivage; car il eſt bien vrai que la chûte du Mouſſe ſeroit parallele au mât qui eſt droit; mais les différens points du mât auxquels répondroit le Mouſſe en tombant, ſeroient plus avancés les uns que les autres dans la direction horizontale, & leur ſuite ſe trouveroit dans une ligne courbe, parce que la chûte ſe fait avec une vîteſſe accélérée. Pour bien entendre ceci, ſuppoſons M*6* (*fig.* 16) le mât du vaiſſeau; le Mouſſe placé en M; *6f*, le chemin que fait le vaiſſeau, pendant que le Mouſſe tombe de M en 6. Le Mouſſe a un mouvement horizontal commun avec le mât, dont la vîteſſe eſt uniforme (57): ſi-tôt qu'il échappe de la hune, ſa peſanteur le fait tomber avec une vîteſſe accélérée (58). Lorſque le Mouſſe, par ſa chûte, ſera arrivé de M en 1, le point 1 du mât ſera en *a*; lorſqu'il ſera tombé en 2, le point 2 ſera en *b*;

Fig. 16.

lorſqu'il ſera en 3, le point 3 ſera en *c*, &c. de ſorte qu'à la fin de la chûte, le point 6 du mât & le Mouſſe ſeront arrivés en *f* : & le Mouſſe ſera tombé par la ligne courbe M*abcdef*. On peut de la même maniere rendre raiſon de tous les faits analogues à celui-ci.

171. De tout ce que nous venons de dire, il ſuit que le mouvement en ligne courbe ne peut pas être l'effet d'une ſeule puiſſance : il ne ſuffit pas même qu'il y en ait pluſieurs qui agiſſent en même temps ; il faut encore que ces puiſſances changent de rapports entre elles, ſans quoi le mouvement ſe fera en ligne droite.

CHAPITRE V.

Des Forces centrales.

172. TOUT ce que nous avons dit du mouvement & de ſes loix, prouve qu'il n'y a aucun mouvement qui ſoit naturellement dirigé en ligne courbe. Un corps une fois déterminé à ſe mouvoir, ſoit par une ſeule cauſe, ſoit par pluſieurs qui agiſſent enſemble, tend, en vertu de la premiere loi (74), à perſévérer dans cet état; & cet état conſiſte à paſſer d'un terme à un autre par la voie la plus courte, qui eſt la ligne droite. Si donc on voit un mobile décrire une ligne courbe, on doit conſidérer le chemin qu'il fait comme une ſuite non interrompue de mouvemens en lignes droites, toutes très-courtes, & dont les directions particulieres changent à chaque inſtant, & forment entre elles des angles fort obtus, comme nous l'avons fait voir ci-deſſus (168). On a vu que cette ſuite de mouvemens en lignes droites ne peut pas être l'effet d'une ſeule puiſſance : pluſieurs même ne ſuffiſent pas, ſi elles ne changent pas continuellement de rapports entre elles (171). Mais ces rapports peuvent changer, non ſeulement quant à l'intenſité ou la force,

comme nous venons de le voir ; mais ils peuvent varier auſſi quant à la direction des puiſſances. C'eſt ſous ce dernier point de vue que nous allons conſidérer le mouvement en ligne courbe.

173. Suppoſons que le mobile A (*fig.* 18) ſoit ſollicité à ſe mouvoir par deux puiſſances AB, AC, dont les directions faſſent entre elles un angle droit au point A ; & dont la force de la premiere ſoit à la force de la ſeconde, comme 3 eſt à 1. Le mouvement compoſé de ces deux forces commencera par A*d*, & continueroit vers *l*, *m*, D, ſi rien ne changeoit dans ces forces : mais ſi, une fois cette nouvelle direction imprimée, la puiſſance qui étoit en AC, ſe trouve placée en *d*H, faiſant encore angle droit avec la nouvelle direction *d*D, comme elle le faiſoit d'abord avec la direction AB, le mouvement ſe compoſera de nouveau, & le mobile ira de *d* en *e* : ſi alors cette puiſſance ſe trouve placée en *e*I, faiſant encore angle droit avec *e*E, le mobile ſe portera de *e* en *f* : s'il continue d'arriver pareille choſe, le mobile ſe portera de *f* en *g*, puis en *h*, &c. de ſorte que ces directions continuant de changer ainſi, finiroient par aboutir au point A, après avoir fait le tour entier. Ce que nous venons de ſuppoſer, n'eſt point un cas métaphyſique ; cela ſe trouve réellement dans le mouvement d'une fronde, ou de tout autre corps

Fig. 18.

qu'on fait tourner au bout d'une corde : car la main qui tient la corde, paſſant ſucceſſivement par les points C, H, I, K, &c., fait paſſer la corde par les poſitions AC, *d*H, *e*I, *f*K, &c.; & comme cette corde reſte toujours de même longueur, elle repréſente une puiſſance qui ne varie que par ſa poſition. Si nous conſidérions ces élémens A*d*, *de*, *ef*, *fg*, &c., comme infiniment courts, leur ſuite formeroit une courbe réguliere, qui ſeroit un cercle.

174. Tout corps qui circule, le fait donc en vertu de deux forces : ſi l'une des deux ceſſoit d'agir, le corps ceſſeroit de circuler ; parce qu'il ne ſeroit plus commandé que par une puiſſance, comme, par exemple, ſi la corde d'une fronde venoit à caſſer, lorſqu'elle ſe trouve en *d*H ou en *e*I, la pierre s'en iroit ou par *d*D ou par *e*E, lignes que l'on nomme *Tangentes*. Tous les corps qui circulent, font donc un continuel effort pour ne plus circuler ; puiſque, s'ils étoient libres, ils s'échapperoient par une tangente. Mais tendre à s'échapper par la tangente, ou faire effort pour s'éloigner du centre autour duquel le corps circule, ſont deux expreſſions qu'on peut regarder comme ſynonymes ; car ſi le mobile A, arrivé en *d*, au lieu d'aller de *d* en *e*, continuoit de *d* en *l*, en *m*, en D, il s'écarteroit de plus en plus des points I, K, &c., & par conſéquent du centre de ſa

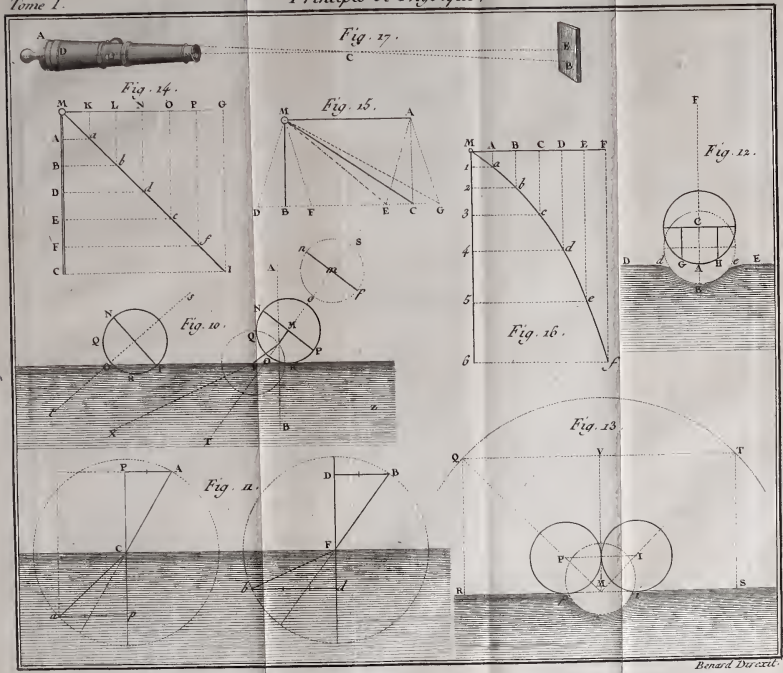


Fig. 17.
Fig. 14.
Fig. 15.
Fig. 12.
Fig. 10.
Fig. 16.
Fig. 11.
Fig. 13.
Benard Direxit.

circulation. Tout corps qui circule, ſi-tôt qu'il commence à circuler, reçoit donc, par cela même, une tendance à s'éloigner du centre de ſa circulation ; & ſi cette tendance n'a pas ſon effet, c'eſt que ce corps eſt retenu ou pouſſé vers ce centre par une puiſſance contraire.

175. Ce ſont ces deux forces, qui produiſent le mouvement en ligne courbe, & qui ſollicitent continuellement le mobile, l'une à s'éloigner, & l'autre à s'approcher du centre, que l'on nomme *forces centrales* : & pour les diſtinguer l'une de l'autre, on appelle la premiere *force centrifuge*, & l'autre *force centripete*.

176. Ces deux forces ſont directement oppoſées l'une à l'autre : car, quoique la force centrifuge ait ſa direction par la tangente BD (*fig.* 19), & que la direction de la force centripete ſoit ſuivant celle du rayon BC, leſquelles font enſemble un angle droit, il eſt cependant certain que le rayon prolongé CA ſeroit, en tournant, coupé par la tangente BD dans une ſuite de points E, F, D, qui vont tous en s'écartant de plus en plus du centre C. Le corps qui s'en va par la tangente, fait donc la même choſe que s'il gliſſoit réellement ſuivant le prolongement du rayon. Si l'on veut s'en aſſurer, qu'on faſſe l'expérience ſuivante. A l'extrémité d'une verge de bois C*g* (*fig.* 20), qui puiſſe tourner ſur le point C, adaptez une petite

Fig. 19.

Fig. 20.

lanterne quarrée *gad*, vitrée des quatre côtés : placez librement au milieu de la lanterne, une bille d'acier *b*; & faites tourner la regle : le verre *d* ſera caſſé. Si la bille *b* ne ſuivoit que la tangente *bf*, ce ſeroit le verre *a* qui ſeroit caſſé : puiſque c'eſt le verre *d* qui l'eſt ; donc la bille *b* ſuit le prolongement *b e* du rayon C*g* : mais ce rayon, en tournant, a ſon prolongement *b e* coupé ſucceſſivement dans tous ſes points par la tangente *bf*. Donc la bille *b*, en s'en allant par la tangente *bf*, ſuit réellement le prolongement *b e* du rayon. C'eſt par cette raiſon que la corde d'une fronde demeure tendue, pendant qu'on la fait tourner; puiſque la pierre qui tend alors à s'en aller, par le prolongement de la corde, preſſe contre le fond de la fronde. La force centrifuge tend donc à éloigner le mobile directement du centre ; tandis que la force centripete tend directement à l'en rapprocher.

177. Les planetes ſont en proie à ces deux forces : leur force centrifuge, réſultante de leur mouvement de rotation (174), tend à tous les inſtans à les écarter du centre de leur mouvement ; & leur force centripete, réſultante de la gravitation générale (194), tend à les en rapprocher. De ces deux forces oppoſées naît un mouvement compoſé en ligne courbe, par lequel chaque planete décrit ſon orbite, qui eſt une courbe relative à la nature des forces qui l'animent.

178. Les forces centrales ont lieu dans toutes les ſubſtances, ſoit ſolides, ſoit fluides, toutes les fois que leur mouvement ſe fait en ligne courbe : c'eſt-à-dire, que toutes ont une force centripete, réſultante de leur gravité : & toutes acquierent une force centrifuge, ſi-tôt qu'elles commencent à ſe mouvoir en ligne courbe (174). Il n'y a là-deſſus aucune exception. Faites tourner un corps ſolide quelconque ; ſi la force qui le retient ou le pouſſe vers le centre de ſon mouvement, s'affoiblit ou ceſſe d'agir, vous le verrez s'écarter de ce centre. Faites de même tourner de l'eau, vous lui verrez faire la même choſe, même dans une direction oppoſée à celle de ſa peſanteur, pourvu que la force centrifuge qu'elle acquiert par ſon mouvement de rotation, ſoit ſupérieure à l'effort de ſa peſanteur.

179. Sur ce principe, on a conſtruit des machines, dans leſquelles on a employé différens moyens pour faire tourner l'eau, & lui faire, par-là, acquérir une force centrifuge capable de l'élever malgré ſon poids. On en peut voir un grand nombre dans le *Recueil des Machines de Ramelli*, & dans celui des *Machines approuvées par l'Académie Royale des Sciences. Tom. VI. pag. 9 & ſuivantes*. Sur ce même principe on a fait des ſoufflets de forge. *Ibid. Tom. V. pag.* 41 ; des cribles, des vans, &c., pour nettoyer le blé. M.

Deſaguilliers (*Tranſ. phil. N°.* 437) a fait conſtruire des machines à peu près ſemblables, & toujours ſur le même principe, pour renouveler l'air de la chambre d'un malade, des lieux qui deviennent mal-ſains par le grand nombre ou par le mauvais état des perſonnes qui les rempliſſent : comme les ſalles de ſpectacle, les infirmeries, les hôpitaux, &c.

Voyons maintenant comment on eſtime la valeur des forces centrales.

180. La valeur de la force centripete d'un corps qui circule, ou la quantité dont ce corps ſe rapprocheroit, dans un temps donné, du centre de ſa révolution, ſi ſa force centrifuge ceſſoit d'agir ſur lui, eſt égale au quarré de la portion de la courbe qu'il décrit dans le même temps, diviſé par le diametre de cette courbe : car *Huyghens* & *Newton* ont démontré (*de vi centrifugâ*, *Huygh. Opera. tom. II*, & *Princip. Mathém. de la Philoſophie natur. Liv. I. Prop.* 4, *pag.* 54) qu'un corps qui fait ſa révolution dans un cercle, ſe rapprocheroit, dans un temps donné, du centre de ce cercle, par ſa ſeule force centripete, d'une quantité égale au quarré de l'arc qu'il décrit dans le même temps, diviſé par le diametre du cercle. D'où il ſuit que ce corps, en vertu de ſa ſeule force centripete, arriveroit au centre de ſon mouvement en moins de temps qu'il ne lui en faudroit pour parcourir les $\frac{2}{100}$ de ſa révolution.

181. Pour connoître la valeur de la force centrifuge, il faut avoir égard à trois choſes : 1°. à la maſſe du corps qui circule ; 2°. à ſa diſtance au centre de ſa révolution ; 3°. à ſa vîteſſe. Pour meſurer cette vîteſſe, on a égard à deux choſes : 1°. à la grandeur de la révolution ; 2°. au temps employé à la faire. Ce temps eſt ce qu'on appelle *temps périodique* : & la révolution eſt la courbe que décrit le mobile, à compter du point d'où il part, juſqu'à ce qu'il ſe rencontre ſur ce même point, après un tour entier. La valeur de la force centrifuge d'un corps qui circule, eſt déterminée par le produit de ſa maſſe multipliée par le quarré de ſa vîteſſe, diviſé par ſa diſtance au centre de ſa circulation. Ce qui peut s'exprimer par la formule ſuivante, en appelant F, la force centrifuge de ce corps ; M, ſa maſſe ; D, ſa diſtance au centre de ſa circulation ; & V, ſa vîteſſe. $F = \frac{MV^2}{D}$.

Maintenant, ſi nous voulons comparer entre elles les forces centrifuges de deux corps, appelons f, la force centrifuge de l'autre corps ; m, ſa maſſe ; d, ſa diſtance au centre de ſa circulation ; & u, ſa vîteſſe. De la regle que nous venons d'établir (181), on peut inférer les phénomenes ſuivans.

182. 1°. *Les forces centrifuges de deux corps*,

qui ſe meuvent avec la même vîteſſe à égales diſtances du centre, ſont entre elles comme les maſſes de ces corps. Ce qui s'exprime par cette formule. F : *f* : : M : *m*. C'eſt-à-dire, que ſi une de ces maſſes eſt double de l'autre, la force centrifuge de cette maſſe eſt double de celle de l'autre.

183. 2°. *Les forces centrifuges de deux corps égaux, qui ſe meuvent dans des temps périodiques égaux à différentes diſtances du centre, ſont entre elles comme ces diſtances au centre.* Ce qui s'exprime par cette formule. F : *f* : : D : *d*. C'eſt-à-dire, que ſi une de ces diſtances eſt double de l'autre, celui des corps qui ſe meut à cette diſtance double, a une vîteſſe double de celle de l'autre : le produit de ſa maſſe multipliée par le quarré de ſa vîteſſe ſera donc quadruple de celle de l'autre, & n'aura qu'un diviſeur double : le quotient, qui donne la valeur de la force centrifuge, ſera donc double.

184. 3°. *Les forces centrifuges de deux corps, dont les temps périodiques ſont égaux, & dont les maſſes ſont en raiſon inverſe de leurs diſtances au centre, ſont égales entre elles.* Ce qu'on peut exprmier par cette formule. F : *f* : : MD : *md*. Ici la maſſe ſimple a une vîteſſe double, puiſqu'elle eſt à une diſtance double : ſon produit par le quarré de ſa vîteſſe eſt donc double de celui de l'autre maſſe ; mais elle a un diviſeur

diviseur double : ce qui produit l'égalité des résultats.

185. 4°. *Les forces centrifuges de deux corps égaux, qui se meuvent à égales distances du centre avec des vîtesses différentes, sont entre elles comme les quarrés de ces vîtesses.* Ce qui s'exprime par cette formule. $F : f :: V^2 . : u^2$. Ici tout est égal de part & d'autre, excepté les vîtesses, dont les quarrés sont les multiplicateurs : les forces centrifuges doivent être entre elles comme les quarrés de ces vîtesses.

186. 5°. *Les forces centrifuges de deux corps inégaux, qui se meuvent à égales distances du centre avec des vîtesses différentes, sont entre elles comme les produits de leurs masses multipliées par le quarré de leurs vîtesses.* Ce qui s'exprime par cette formule. $F : f :: MV^2 : mu^2$. Puisqu'ici les diviseurs sont égaux, les forces doivent être entre elles comme sont entre eux les produits de leurs masses multipliées par le quarré de leurs vîtesses, avant d'être divisés par la distance au centre.

187. 6°. *Les forces centrifuges de deux corps égaux, qui se meuvent avec des vîtesses égales à différentes distances du centre, sont entre elles en raison inverse de ces distances au centre*; c'est-à-dire, que cette force est plus grande dans le corps qui circule à la plus petite distance du

centre. Ce qui s'exprime par cette formule. F : f :: d : D. Puiſqu'ici tout eſt égal de part & d'autre, excepté les diviſeurs, il eſt clair que plus le diviſeur eſt grand, plus le quotient eſt petit : les forces centrifuges, qui ſont exprimées par les quotiens, doivent donc être en raiſon inverſe de ces diviſeurs, leſquels ſont les diſtances au centre.

188. 7°. *Les forces centrifuges de deux corps inégaux, qui ſe meuvent avec des vîteſſes égales à différentes diſtances du centre, ſont entre elles comme les maſſes de ces corps multipliées par les diſtances au centre l'un de l'autre* ; c'eſt-à-dire, que, pour avoir ce rapport, on multiplie la maſſe d'un de ces corps par la diſtance au centre de l'autre : & *vice verſâ*. Ce qui s'exprime par cette formule. F : f :: Md : mD. Puiſque les vîteſſes ſont égales de part & d'autre, il eſt clair que les maſſes ſont entre elles comme les produits ces maſſes multipliées par le quarré de leur vîteſſe : il eſt donc égal de diviſer ces produits, ou ſimplement les maſſes, par leur diſtance au centre ; ou de multiplier les maſſes par les diſtances au centre l'une de l'autre.

189. 8°. *Les forces centrifuges de deux corps inégaux, qui ſe meuvent avec des vîteſſes inégales à différentes diſtances du centre, ſont entre elles comme les produits des maſſes de ces corps par*

le quarré de leurs vîteſſes propres, multipliées par les diſtances au centre l'un de l'autre ; c'eſt-à-dire, que, pour avoir ce rapport, on cherche le produit de la maſſe d'un de ces corps par le quarré de ſa vîteſſe propre, & on le multiplie par la diſtance au centre de l'autre corps, au lieu de le diviſer par ſa propre diſtance au centre ; & *vice verſâ*. Ce qui s'exprime par cette formule. $F : f :: MV^2 d : mu^2 D$. Il eſt aiſé de le convaincre, en cherchant la valeur de ſa force centrifuge de chacun de ces corps, par le moyen de la regle établie ci-deſſus (181), qu'il eſt encore égal ici de diviſer ces produits chacun par la propre diſtance au centre de circulation de chacun de ces corps, ou de les multiplier par les diſtances au centre l'un de l'autre.

190. Si les forces centrales d'un corps ſe font équilibre, c'eſt-à-dire, ſi la force centripete d'un corps fait équilibre à la force centrifuge de ce même corps, ce corps continuera de tourner ſans s'approcher ni s'éloigner du centre de ſa circulation ; & il décrira un cercle.

191. Mais ſi les rapports de ces forces changent ; ſi, par exemple, l'une des deux devient plus forte ou plus foible qu'elle n'étoit, l'autre demeurant la même, le corps décrira une courbe qui ſuivra la nature de ces changemens de rapports.

192. Si ces rapports, une fois changés, ſe

rétabliſſent avant la fin de la révolution, la courbe que décrira le mobile, ſera une courbe rentrante ſur elle-même : telle eſt, par exemple, une ellipſe.

193. Mais ſi ces rapports ne ſe rétabliſſent point ; ſi, par exemple, la force centripete va toujours en diminuant, la courbe ne ſera point rentrante ſur elle-même : le mobile, en s'éloignant du centre de ſon mouvement, décrira des ſpires plus ou moins régulieres, ſuivant le progrès de la diminution de cette force centripete.

CHAPITRE VI.

De la Gravité ou Gravitation des corps.

194. ON a donné le nom de *Gravité* ou de *Gravitation* à la force par laquelle tous les corps tendent les uns vers les autres. On a auſſi appelé cette force *Attraction*. Tous les corps de la Nature ſe comportent entre eux comme s'ils s'attiroient mutuellement, ou comme s'ils étoient pouſſés les uns vers les autres par une puiſſance extérieure : & cette force, quelle qu'elle ſoit, paroît agir en raiſon directe des maſſes, & en raiſon inverſe du quarré de la diſtance. Mais les corps s'attirent-ils réellement les uns les autres ? ou ſont-ils pouſſés les uns vers les autres par une puiſſance extérieure ? Voilà ce que l'on ignore complétement. Cette impulſion n'a été que ſuppoſée, & n'a jamais été prouvée. L'attraction inhérente dans les corps, comme s'ils agiſſoient hors d'eux-mêmes & ſans intermede, eſt inconcevable. En effet, *Newton* lui-même n'a jamais donné l'attraction comme la cauſe phyſique de la gravité des corps : il s'eſt ſeulement ſervi de ce mot pour énoncer le fait, & non pas pour en rendre raiſon, comme il le dit lui-même dans ſes *Princ.*

Mathém. de la Philoſ. Nat. pag. 7, édition de Paris, 1759. Voici ſes termes. » Au reſte, je » prends ici dans le même ſens les attractions » & les impulſions accélératrices & motrices ; & » je me ſers indifféremment des mots d'*impulſion*, » d'*attraction*, & de *propenſion* quelconque vers » un centre : car je conſidere ces forces mathé- » matiquement & non phyſiquement ; ainſi le » Lecteur doit bien ſe garder de croire que j'aie » voulu déſigner par ces mots une eſpece d'ac- » tion, de cauſe ou de raiſon phyſique ; & lorſ- » que je dis que les centres attirent, lorſque je » parle de leurs forces, il ne doit pas penſer » que j'aie voulu attribuer aucune force réelle à » ces centres, que je conſidere comme des points » mathématiques «. Il ſuit de là que nous igno- rons encore quelle eſt la cauſe phyſique de la gravité, quoiqu'on ait imaginé pluſieurs ſyſtêmes pour en rendre raiſon. Il n'y a aucun de ces ſyſtêmes qui ſoit ſoutenable, & contre lequel on ne puiſſe faire des objections auxquelles il eſt impoſſible de répondre. C'eſt pourquoi je ne crois pas devoir les rapporter ici : cela ne feroit qu'a- longer cet article, ſans y répandre plus de clarté. Si le Lecteur étoit curieux de les connoître, il les trouveroit dans les Ouvrages ſuivans : ſavoir, celui de *Gaſſendi*, dans l'*Eſſai de Phyſique de Muſſchen- brock*, *Tom. I* ; celui de *Deſcartes*, dans ſes

Principes; celui de *De Molieres*, *dans ſes Leçons de Phyſique*, & *dans les Principes du Syſtême des petits Tourbillons*, par M. *de Launay*, *Chap. X*; celui de *Bulfinger*, dans une Diſſertation intitulée, *de Cauſâ Gravitatis*; celui d'*Huyghens*, à la tête du premier volume de ſes Œuvres, ſous le titre, *de Cauſâ Gravitatis*; celui de *Varignon*, dans ſes *Conjectures ſur la Peſanteur*, 1691, celui de *Perrault*, dans le premier volume de ſes *Œuvres de Phyſique*; celui de *Villemot*, dans ſa *nouvelle Explication du Mouvement des Planetes*; celui de *Bernoulli*, dans *ſa nouvelle Phyſique céleſte*, *Tom. III* de ſes Œuvres; & celui de *Newton*, dans ſes *Principes Mathématiques de la Philoſophie Naturelle*; & dans ſon *Traité d'Optique*.

195. On pourroit dire que la gravité eſt la même choſe que la peſanteur : cependant il y a cette différence, que *peſanteur* ne ſe dit jamais que de la force particuliere qui fait que les corps ſublunaires tendent vers la terre; & que *gravité* ſe dit de la force par laquelle un corps quelconque tend vers un autre. Car le principe général du ſyſtême *Newtonien* eſt que la gravité eſt une propriété univerſelle de la matiere : de ſorte que, par cette propriété, non ſeulement un corps tend vers un autre, mais les parties d'un même corps tendent toutes les unes vers les autres; ce qui peut ſe prouver par un grand nombre de phéno-

menes. Nous ne rappellerons ici que les plus simples & les plus communs : par exemple, la figure sphérique que prennent les gouttes d'eau, provient en grande partie d'une pareille force : c'est par la même raison que deux globules de mercure s'unissent & s'incorporent en un seul, dès qu'ils viennent à se toucher, ou qu'ils sont fort près l'un de l'autre. A l'égard de la loi précise de cette attraction, on ne l'a point encore déterminée : tout ce que l'on sait certainement, c'est qu'en s'éloignant du point de contact, elle décroît plus que dans la raison du quarré de la distance ; & que, par conséquent, elle suit une autre loi que la gravité. En effet, si, de même que la gravité, cette force suivoit la loi de la raison inverse du quarré de la distance, elle ne seroit guere plus grande au point de contact que fort proche de ce point : car *Newton* a démontré dans ses *Principes Mathématiques*, que, si l'attraction d'un corps est en raison inverse du quarré de la distance, cette attraction est finie au point de contact, & qu'ainsi elle n'est guere plus grande au point de contact qu'à une petite distance de ce point. Au contraire, lorsque l'attraction décroît plus qu'en raison du quarré de la distance, par exemple, en raison du cube, ou d'une autre puissance plus grande que le quarré ; alors, selon les démonstrations de *Newton*, l'attraction est

infinie au point de contact, & finie à une très-petite distance de ce point. Or il est certain, par toutes les expériences, que l'attraction, qui est très-grande au point de contact, devient presque insensible à une très-petite distance de ce point. D'où il suit que l'attraction, dont il s'agit, décroît en raison d'une puissance plus grande que le quarré de la distance. Mais l'expérience ne nous a point encore appris si la diminution de cette force suit la raison du cube, ou d'une autre puissance plus élevée.

196. Tout le monde convient que tout mouvement est naturellement rectiligne; de sorte que les corps qui, dans leur mouvement, décrivent des lignes courbes, y doivent être forcés par quelque puissance qui agit sur eux continuellement. D'où il suit que les planetes faisant leurs révolutions dans des orbites curvilignes, il y a quelque puissance, dont l'action continuelle & constante les empêche de se déplacer de leur orbite & de décrire des lignes droites, en tendant à les rapprocher du centre de leur révolution (177) : c'est cette puissance, quelle qu'en soit la cause, à laquelle on a donné le nom de *gravité*. En effet, les planetes ne pourroient pas continuer de décrire leur orbite, s'il n'y avoit pas quelque force qui les retînt ou qui les poussât vers le centre de leur révolution (174) : cette force, appelée *gravité*,

exiſte donc réellement ; & quoique nous en ignorions la cauſe, nous ne devons pas manquer de l'admettre.

197. Concluons de tout ceci, que les planetes ſont retenues dans leurs orbites par une puiſſance qui agit continuellement ſur elles ; que cette puiſſance a ſa direction vers le centre de ces orbites ; que l'efficacité de cette puiſſance augmente à meſure que la planete approche du centre, & qu'elle diminue à meſure qu'elle s'en éloigne ; qu'elle augmente en même proportion que diminue le quarré de la diſtance, & qu'elle diminue comme le quarré de la diſtance augmente.

CHAPITRE VII.

De la Pesanteur des Corps.

198. ON appelle *Pesanteur*, la force par laquelle tous les corps sublunaires se portent constamment d'un lieu plus élevé à un plus bas, tant que rien ne s'oppose à leur chûte, ou que les obstacles ne sont pas suffisans pour les arrêter : en un mot, on appelle *pesanteur*, la force par laquelle les corps tendent à descendre par une ligne perpendiculaire au point de la surface de la terre auquel ils répondent : & s'ils ne descendent pas par cette ligne, c'est qu'il y a quelque obstacle qui s'y oppose.

199. Il paroît que cette force, qui fait descendre les corps, est une suite de la gravitation générale qu'on observe dans la Nature (194). Mais comme on ne sait pas certainement quelle est la cause physique de cette gravitation, on ignore de même quelle est la cause physique de la pesanteur. Tous les systêmes qu'ont imaginés les Physiciens pour en rendre raison, peuvent se ranger en trois classes. Les uns regardent la pesanteur comme une qualité inhérente & primordiale des corps, comme une loi générale de

la Nature, qui peut n'avoir d'autre cause que la seule volonté du Créateur. Il faut avouer qu'ainsi on écarte toutes les difficultés, mais il ne faut pas prétendre qu'on rende par-là physiquement raison de la pesanteur. D'autres prétendent que la pesanteur est l'effet de l'impulsion de quelque matiere très-subtile & invisible. Mais quelle est cette matiere ? comment agit-elle ? & pourquoi ne pousse-t-elle les corps que dans une direction perpendiculaire à l'horizon ? voilà ce qu'on ne peut dire qu'imparfaitement, & ce à quoi on a opposé des raisonnemens auxquels on n'a pas encore pu répondre. Si l'on est curieux de juger soi-même ces systêmes, on les trouvera dans les Ouvrages que nous avons cités ci-dessus (194); & l'on verra qu'il n'y en a aucun qui présente, sur la cause physique de la pesanteur, une explication satisfaisante & bien intelligible. D'autres enfin disent que la pesanteur n'est qu'un exemple particulier de l'attraction réciproque des corps. Mais cette action des corps les uns sur les autres, agissant comme hors d'eux-mêmes, sans intermede & à de grandes distances, n'est point du tout aisée à concevoir. *Descartes* a cru pouvoir rendre raison de la chûte des corps par les forces centrales. Mais si son idée étoit vraie, les corps tendroient, non pas au centre de la terre, mais à l'axe; ce qui est contre l'expérience. Nous

n'avons donc jusqu'à présent, sur la cause physique de la pesanteur, aucune explication satisfaisante. Laissons donc là la cause, & attachons-nous à la connoissance des effets : cela sera plus satisfaisant & en même temps plus utile.

Il arrive souvent que la pesanteur agit seule sur les corps : alors ils tombent suivant les loix que nous allons établir. D'autres fois la pesanteur agit sur les corps conjointement avec quelque autre puissance ; ce qui fait que le mouvement se compose. Nous allons traiter séparément de ces deux cas. Examinons, 1°. les phénomenes où la pesanteur agit seule sur les corps : 2°. ceux où le mouvement est composé de la pesanteur & de quelque autre puissance.

Phénomenes où la Pesanteur agit seule sur les Corps.

200. Il ne faut pas confondre ces deux termes, *pesanteur* & *poids* ; ils expriment deux choses très-différentes. La pesanteur d'un corps est la force qui le sollicite à descendre ; & son poids est la somme des parties pesantes qui sont contenues sous son volume. La pesanteur appartient également à toutes les parties d'un même corps : cette force n'augmente ni ne diminue par leur réunion ou leur séparation ; mais le poids d'un corps change, comme la quantité de matiere qui

le compoſe. On peut donc dire que, quoiqu'un petit corps ait moins de poids que n'en a un grand, il a cependant autant de peſanteur ; car l'un & l'autre tendent de haut en bas avec la même vîteſſe.

201. Il faut conſidérer dans la peſanteur, ce que l'on conſidere dans toutes les autres puiſſances ; ſavoir, 1°. ſa direction : 2°. ſon intenſité, c'eſt-à-dire, la meſure ou la quantité de ſon action ſur les corps.

202. Sa direction eſt toujours perpendiculaire à l'horizon. On exprime encore cette direction par une tendance au centre de la terre ; ce qui ſeroit préciſément la même choſe, ſi la terre étoit ſphérique : car alors chaque ligne perpendiculaire à ſa ſurface ſeroit le prolongement d'un rayon. Mais la terre étant un ſphéroïde applati par les pôles, les lignes perpendiculaires à ſa ſurface n'aboutiſſent pas toutes au centre, mais à différens points qui compoſent un eſpace autour du centre. Mais, comme cet eſpace eſt fort petit, on peut, ſans erreur ſenſible, regarder le centre de la terre comme celui des corps graves.

203. A l'égard de l'intenſité de la peſanteur ou de la meſure de ſon action ſur les corps, il y a pluſieurs queſtions qu'il faut examiner & réſoudre. Il faut ſavoir, 1°. ſi cette action eſt la même dans tous les corps ; c'eſt-à-dire, ſi elle

tend à faire descendre les corps tous avec la même vîtesse : 2°. si la mesure de cette action est la même dans tous les temps : 3°. si elle est la même dans tous les lieux : 4°. si elle varie dans le même corps : 5°. dans le cas où elle varie, si elle augmente ou si elle diminue : 6°. dans l'un ou l'autre cas, comment se font ses progrès.

204. L'expérience ne nous apprend qu'à peu près combien un corps parcourt d'espace, dans un temps donné, en vertu de sa pesanteur ; parce qu'il a toujours à vaincre des obstacles inséparables de l'état naturel, comme en éprouvent les corps qui obéissent à toute autre puissance (75). La résistance des milieux, qui varie comme leurs densités (76) ; la figure du corps qui tombe (79, 80, 81) ; le rapport de sa masse à son volume ou sa densité (24) ; la portion de son poids qu'il perd dans l'air (321) ; tout cela empêche qu'on ne connoisse au juste la mesure primitive de l'action de la pesanteur sur les corps. On sait seulement qu'à Paris, par exemple, ou aux environs, un corps qui a peu de volume & beaucoup de masse, comme une balle de plomb, parcourt, dans l'air libre, environ 15 pieds de France dans la premiere seconde de sa chûte. Nous verrons bientôt pourquoi on embrasse ici toutes ces circonstances.

205. 1°. La mesure de l'action de la pesan-

teur eſt-elle la même dans tous les corps ? On a cru pendant long-temps que la peſanteur & le poids étoient ſynonymes, & que les corps avoient une tendance à tomber d'autant plus grande qu'ils avoient plus de maſſe. Cela étoit vraiſemblable : en effet on voyoit toujours, comme on le voit aujourd'hui, qu'un corps peu denſe, comme une plume, tomboit moins vîte qu'un corps plus denſe, comme une pierre. Mais un plus ou un moins ne décide pas la queſtion, quand il n'eſt pas proportionnel à la cauſe que l'on ſoupçonne. *Galilée* eſt le premier qui ait meſuré ce *moins* : & ayant trouvé qu'il ne répondoit pas à la différence des poids, il imagina que la peſanteur agiſſoit avec une égale force ſur la plume & ſur la pierre ; & que la différence dans leur chûte venoit uniquement de la réſiſtance de l'air, qui ſe faiſoit plus ſentir ſur celui des deux corps qui avoit le moins de maſſe (207). Ce raiſonnement étoit très-bien fondé ; & l'on en voit la juſteſſe, ſi l'on fait tomber des corps dans le vide d'air : alors, de quelque nature qu'ils ſoient, ils tombent tous avec la même vîteſſe. La meſure de l'action de la peſanteur eſt donc la même dans tous les corps. C'eſt donc la réſiſtance de l'air qui eſt la cauſe de la différence de leur chûte dans le plein.

206. On peut ainſi évaluer cette différence, &

& en sentir la raison. La quantité de mouvement des corps s'estime par leur masse & leur vîtesse (63). Si nous regardons maintenant, comme en effet nous devons le faire, la pesanteur comme une force qui imprime une vîtesse commune & égale à tous les corps, les quantités de mouvement de deux corps qui commencent à tomber, ne peuvent différer entre elles que par la masse; & elles doivent lui être proportionnelles. Supposons donc une boule de plomb pesant 24 onces, & une boule de bois de même diametre pesant 2 onces: puisque leurs vîtesses initiales sont égales, leurs quantités de mouvement, au premier instant de leur chûte, seront comme leurs masses, c'est-à-dire, 24 dans le plomb & 2 dans le bois. Supposons maintenant que, pendant leurs chûtes, la résistance de l'air (qui est égale pour les deux corps, puisqu'ils ont le même volume & la même figure) leur ôte à chacun un degré de mouvement; le plomb n'aura perdu que $\frac{1}{24}$ de ce qu'il avoit; & le bois en aura perdu la moitié. Le ralentissement sera donc beaucoup plus considérable dans le bois que dans le plomb, quoique ces deux effets procedent de la même cause. Voilà pourquoi les corps tombent, dans le plein, d'autant moins vîte qu'ils ont moins de masse; tandis que dans le vide ils tomberoient tous avec une vîtesse égale.

207. On a fait en grand des expériences sur la chûte directe des corps, tant en Italie qu'en France, en Angleterre, en Allemagne, qui prouvent ce que nous venons d'avancer. Mais *Desaguillers* a fait ces expériences, avec plus d'avantage que personne, à la tour de Saint-Paul de Londres, élevée de 272 pieds anglois, qui équivalent à 255 pieds françois. Il fit tomber de cette hauteur deux boules de $5\frac{1}{2}$ pouces de diametre, dont l'une pesoit 2610 grains; & l'autre seulement $137\frac{1}{2}$ grains. Leurs masses étoient donc, à très-peu de chose près, dans le rapport de 19 à 1. La plus pesante acheva sa chûte en $6\frac{1}{2}$ secondes; la chûte de l'autre dura près de 19 secondes. Donc, 1°. la vîtesse de la chûte n'est pas proportionnelle à la masse; car la plus légere ayant employé 19 secondes à tomber, la plus pesante auroit dû tomber en 1 seconde; & elle en a mis $6\frac{1}{2}$. Donc, 2°. les corps tombent, dans le plein, d'autant moins vîte qu'ils ont moins de masse; car la boule qui a employé, dans le plein, $6\frac{1}{2}$ secondes à parcourir 255 pieds françois, auroit, selon les loix de l'accélération, que nous établirons ci-après (216), parcouru, dans le vide, pendant ce temps-là, $633\frac{1}{4}$ pieds : voilà donc $378\frac{1}{4}$ pieds de retranchés par la résistance de l'air; & la boule qui a employé, dans le plein, 19 secondes à parcourir 255 pieds, auroit parcouru,

dans le vide, pendant le même temps, 1353 $\frac{1}{4}$ pieds : voilà donc 1098 $\frac{1}{4}$ pieds de retranchés par la même réſiſtance de l'air. Donc cette réſiſtance de l'air produit ſur les corps qui tombent, d'autant plus de retardement dans leur chûte qu'ils ont moins de maſſe (205). *Newton* a confirmé ce principe par les vibrations de boules ſuſpendues à des fils, & dont il a mis les diametres & les poids en différens rapports. Nous ferons voir (258) que ces vibrations ſont un effet de la peſanteur. Si donc deux boules de même diametre, de même poids, & ſuſpendues par des fils d'égales longueurs, font, dans le même air, des vibrations ſemblables en amplitude & en durée, on voit qu'elles ſont animées par des peſanteurs égales ; & l'on ne doit pas changer de ſentiment, ſi la différence que la diminution ou l'augmentation du poids y apporte, ne ſuit pas le rapport des maſſes.

208. Par ce principe, on explique aiſément pourquoi la même matiere tombe plus lentement à meſure qu'elle ſe diviſe : par exemple, une bûche réduite en copeaux, tombe beaucoup plus lentement que lorſqu'elle eſt entiere. Par ſa diviſion elle acquiert plus de ſurface ; elle en préſente davantage au milieu réſiſtant, qui, pour cette raiſon, lui cauſe plus de retardement dans ſa chûte. Sans cette réſiſtance de l'air, qui retarde

& divise les corps dont les parties ont entre elles peu d'adhérence, la chûte d'une potée d'eau seroit aussi à craindre que celle d'un glaçon ou d'une pierre de même poids. C'est par cette raison que la grêle tombe plus vîte que la pluie, & cause plus de ravages dans nos campagnes ; & sans cette résistance de l'air, qui retarde la chûte des corps, la plus petite grêle seroit, par la vîtesse extrême de sa chûte, capable de tuer les hommes & les animaux.

209. 2°. La mesure de l'action de la pesanteur est la même dans tous les temps ; car les corps tombent aujourd'hui, comme ils tomboient il y a plusieurs milliers d'années : il n'y a donc point de variation à cet égard.

210. 3°. La mesure de l'action de la pesanteur est-elle la même dans tous les lieux ? En regardant comme centre des graves celui de la terre, on a soupçonné qu'à différentes distances de ce centre, l'intensité ou la mesure de l'action de la pesanteur n'est pas la même ; qu'elle agit avec d'autant moins de force sur les corps, qu'ils sont plus éloignés du centre de la terre. Et voulant connoître, par l'expérience, si ce soupçon étoit bien ou mal fondé, on a éprouvé la chûte des corps aux plus grandes hauteurs & aux plus grandes profondeurs auxquelles on a pu parvenir ; mais n'ayant trouvé dans ces chûtes aucune différence

sensible, on a cru l'intensité de la pesanteur uniforme à toutes ces distances, jusqu'à ce qu'on ait eu des raisons de croire le contraire. C'est *Newton* qui nous a fourni ces raisons. Non seulement il assure que la pesanteur agit d'autant moins sur les corps, qu'ils sont plus éloignés du centre de la terre ; mais il donne de plus des regles pour évaluer cette diminution. Il nous dit, & de maniere à se faire croire, que, si la lune étoit abandonnée à sa force centripete, elle descendroit vers la terre en parcourant environ 15 pieds 1 pouce dans la premiere minute de sa chûte. Or c'est-là l'espace que les corps, placés vers la surface de la terre, parcourent, en vertu de leur pesanteur, dans la premiere seconde de leur chûte (204) : & s'ils tomboient librement pendant 1 minute, & faisant abstraction de la résistance de l'air, ils parcourroient, à cause de l'accélération de leur chûte, dont nous parlerons bientôt (216), 3600 fois cet espace. Un corps qui tomberoit de la lune vers la terre, tomberoit donc 3600 fois plus lentement. Mais la lune est éloignée environ 60 fois autant du centre de la terre, que les corps, qui sont à sa surface, le sont de ce même centre (1871) : & 3600 est le quarré de 60. D'où l'on doit conclure, avec *Newton*, que l'action de la pesanteur sur les corps décroît comme le quarré de la distance

augmente. C'eſt dans les Ouvrages mêmes de *Newton* qu'il faut chercher les preuves de ce qu'il avance ; preuves fondées ſur des connoiſſances certaines. (Voyez ſes *Principes mathématiques de la Philoſophie naturelle*, *tom. II*, *Prop. IV*, *pag.* 13, *édit. de Paris* 1759). Voici à peu près comment on peut juger de la quantité de l'action de la peſanteur ſur les corps à la hauteur de la lune, par la quantité de la même action ſur les corps qui ſont vers la ſurface de la terre, en ſuppoſant, comme l'a fait *Newton* (ce qui eſt plus que probable), que la force centripete de la lune eſt la même que celle des
Fig. 21. corps terreſtres. Suppoſons que T (*fig.* 21) repréſente la terre : L, la lune ; LABC, l'orbite de cette planete. Il eſt certain que la lune ne circule autour de la terre, qu'en conſéquence de deux puiſſances qui agiſſent en même temps ſur elle (174) ; l'une ſa force centripete, qui la pouſſe ou la tire vers la terre dans la direction du rayon LT de ſon orbite ; & l'autre ſa force centrifuge, réſultante de ſon mouvement de circulation (177), qui la pouſſe dans la tangente LF. Il eſt certain de plus, comme nous l'avons dit ci-deſſus (166), que, ſi un corps obéit en même temps à deux puiſſances, comme LD, LE, on connoît le rapport de ces deux puiſſances par la diagonale LC que ce corps décrit. Suppoſons

donc que LC soit l'arc de son orbite que la lune parcourt dans une minute ; il est clair que le sinus verse LD de cet arc représente la quantité dont la lune descendroit vers la terre T, si elle n'obéissoit qu'à sa force centripète. Mais, vu la distance de la lune à la terre, & sa vîtesse moyenne, LD se trouve être, suivant *Newton*, de 15 pieds 1 pouce $1\frac{4}{9}$ ligne. C'est donc là l'espace que la lune parcourroit pendant une minute en vertu de sa pesanteur. L'intensité de cette force sur les corps est donc différente à différentes distances du centre de la terre ; & elle décroît comme le quarré de la distance augmente.

211. Nous n'avons point d'assez grandes hauteurs pour constater par expérience cette théorie de la chûte directe des corps : mais MM. *Bouguer* & *de la Condamine* y ont suppléé par l'expérience suivante. Il ont fait osciller un pendule pendant la révolution d'une étoile fixe (nous ferons voir ci-après (258) que ces oscillations sont un effet de la pesanteur), 1°. au bas, 2°. au haut d'une des montagnes des Cordilieres, & ont mesuré la différence des hauteurs perpendiculaires de ces deux stations. Le nombre des vibrations a été moindre, pendant le même temps, dans le haut que dans le bas : & ce *moins* s'est assez bien accordé avec la Théorie de *Newton*.

212. L'intensité de la pesanteur doit encore être

différente dans les différens climats de la terre. Car la terre tournant sur son axe, chaque point de sa surface, ainsi que les corps qui y sont placés, prennent une force centrifuge (174), qui diminue les effets de la pesanteur, puisqu'elle y est opposée (176). Mais cette force centrifuge ne diminue pas les effets de la pesanteur également par-tout; car elle est d'autant plus grande dans chacun des corps qui circulent, qu'ils décrivent de plus grands cercles dans le même temps (181), puisqu'alors ils ont plus de vîtesse. Or ceux qui sont sous l'équateur, ou près de là, décrivent de plus grands cercles que ceux qui sont vers les pôles : les effets de la pesanteur sur eux sont donc plus diminués; d'autant plus que la force centrifuge est directement opposée à la pesanteur sous l'équateur, & obliquement, par-tout ailleurs; & d'autant plus obliquement, qu'elle s'approche plus des pôles : car supposons AB (*fig.* 22) l'axe sur lequel tourne la terre : DE ou GP, le diametre de son équateur. 1°. Le corps qui tourne en G décrit, en 24 heures, un plus grand cercle que celui qui tourne en F, dont le cercle qu'il décrit a pour diametre FN, plus petit que DE. 2°. La force centrifuge en G a sa direction par GO, prolongement du rayon CG (176); & la force centripete a sa direction par GC : donc ces deux forces sont là directement oppofées. Mais en F,

Fig. 22.

la force centrifuge a sa direction par FL, prolongement du rayon MF, tiré du centre M de la tranche dans laquelle le corps circule ; & la force centripete a sa direction par FC : donc ces deux forces ne sont là qu'obliquement opposées. Les corps tombent donc plus lentement vers l'équateur que vers les pôles. C'est en effet ce qui a été prouvé par l'expérience faite à Caïenne, en 1672, par M. *Richer*. Il observa qu'un pendule d'une longueur convenable pour battre les secondes à Paris, mesuroit à Caïenne des temps plus longs : & nous ferons voir (258) que le mouvement d'oscillation d'un pendule est un effet de la pesanteur. Cette expérience a été répétée depuis par plusieurs bons Observateurs, entre autres par les Académiciens qui sont allés au Pérou, & par ceux qui ont fait le voyage du Nord pour les mesures relatives à la figure de la terre ; & elle a toujours prouvé que les corps tombent plus lentement vers l'équateur que vers les pôles ; & que ce retardement diminue à proportion que la latitude du lieu augmente.

213. C'est cette même expérience qui a prouvé démonstrativement la rotation de la terre sur son axe ; & qui a fait douter de sa sphéricité. Car, puisque la terre tourne, ses différentes parties acquierent des forces centrifuges (174), qui ne sont pas égales dans toute son étendue (212) ; puisque les parties qui sont sous l'équateur décri-

vent un grand cercle en 24 heures ; celles qui sont vers les cercles polaires décrivent, en pareil temps, un cercle dont le diamètre est beaucoup moindre, & celles qui sont sous les pôles, ne tournent point. *Huyghens* & *Newton* ne furent pas plus tôt informés de cette expérience, que, fondés sur les loix de la statique & des forces centrales, ils soupçonnerent que la terre n'étoit pas sphérique, mais qu'elle étoit un sphéroïde applati par les pôles. Car, dirent-ils, pour que les rayons de la terre CG, CP (*fig.* 22) qui répondent à l'équateur, soient en équilibre avec ceux CA, CB, qui répondent aux pôles, il faut que les premiers soient plus longs que les autres d'une quantité proportionnelle à la diminution de leur gravité, par la force centrifuge. Ils ont même poussé leur calcul jusqu'à déterminer cette quantité. Suivant *Huyghens*, le diamètre de l'équateur est à l'axe de la terre comme 578 est à 577 : & suivant *Newton*, comme 230 est à 229 ; ce qui n'est pas très-éloigné l'un de l'autre. La théorie de ces deux grands Hommes a été confirmée depuis par les travaux des Académiciens dont nous venons de parler (212), & qui ont été, les uns au Pérou, & les autres dans le Nord, pour prendre la mesure d'un degré du méridien dans ces différens climats, afin de connoître par-là si la terre étoit sphérique ou non. C'est dans les Ouvrages de ces Savans

Fig. 22.

qu'il faut voir le détail de leurs opérations, dont je ne donne ici que les réſultats. Le rayon de l'équateur de la terre eſt de 3,281,013 toiſes : la moitié de ſon axe eſt de 3,265,752 $\frac{1}{2}$ toiſes : la différence, 15260 $\frac{1}{2}$ toiſes, donne l'applatiſſement de la terre vers les pôles. Cette différence ſur l'axe entier eſt égale à 13 lieues communes de France, de 2283 toiſes chacune, plus 842 toiſes : d'où il ſuit que le diametre de l'équateur eſt plus grand que l'axe de la terre de 13 lieues & environ $\frac{1}{3}$; ce qui donne le rapport du diametre de l'équateur à l'axe, comme 215 à 214 ; rapport dont celui de *Newton* approche beaucoup. (Voyez *la grandeur & la figure de la Terre* ; Ouvrage qui fait ſuite aux *Mém. de l'Acad. des Scienc. pour l'année* 1718.) On peut voir auſſi les Ouvrages ſur le même objet, des Académiciens qui ont été pour cela au Pérou & dans le Nord.

214. 4°. La meſure de l'action de la peſanteur varie-t-elle dans le même corps ? Si l'on meſure, comme en effet on doit le faire, cette quantité d'action par la vîteſſe avec laquelle un corps deſcend, elle peut varier dans le même corps, ſuivant qu'il eſt chaud ou froid, ſuivant la figure de ce corps, ſuivant le rapport de ſa maſſe à ſon volume, &c. Toutes ces cauſes de variation ſont accidentelles ; elles naiſſent de la réſiſtance du milieu (78), que le corps eſt obligé de traverſer. Mais une autre

variation, qui dépend uniquement de la pesanteur, est celle qui arrive au corps pendant qu'il tombe. Il semble que cette force soit dans le mobile même ; elle agit sur lui, pendant toute la durée de sa chûte, autant qu'elle a agi au commencement : de sorte qu'elle lui donne à chaque instant une nouvelle impulsion, d'où naît un nouveau degré de vîtesse. Un corps qui a cédé à sa pesanteur pendant une seconde, a donc une vîtesse actuelle plus grande que celle qu'il auroit eue, s'il n'étoit tombé que pendant une demi-seconde. Car on sait qu'un corps qui tombe librement, produit un choc d'autant plus grand, qu'il tombe de plus haut ; dans ce cas-là, l'intensité de ce choc ne peut augmenter que par la vîtesse : car nous supposons la même masse, puisque c'est le même corps. La vîtesse de ce corps s'accroît donc à chaque instant.

215. 5°. L'intensité de la pesanteur va donc toujours en augmentant dans le même corps, pendant qu'il tombe. Mais suivant quelle loi s'accroît sa vîtesse ? L'expérience prouve que cet accroissement de vîtesse est proportionnel à la hauteur de la chûte, & non pas à sa durée. Que l'on fasse tomber différens corps de mêmes figures, de hauteurs qui soient entre elles en raison inverse des masses de ces corps, ils produiront tous le même effort : donc ils ont tous des quantités égales de mouvement (63) ; ce qui ne pourroit pas être, si

les vîteſſes acquiſes à la fin de chaque chûte n'étoient pas proportionnelles à la hauteur de ces chûtes. Donc, &c.

216. 6°. Puiſque la vîteſſe d'un corps qui tombe s'accroît à tous les inſtans, quel eſt donc à chaque inſtant la progreſſion de cet accroiſſement de vîteſſe? C'eſt encore à l'expérience à nous inſtruire: voici ce qu'elle nous apprend. Si l'on fait tomber librement un corps qui ait beaucoup de maſſe & peu de volume, afin d'avoir le moins de déchet poſſible par la réſiſtance de l'air, on verra qu'il parcourt un eſpace dans la premiere ſeconde de ſa chûte; trois eſpaces dans la ſeconde ſuivante; cinq eſpaces dans la troiſieme ſeconde; & ainſi de ſuite, en augmentant toujours de deux eſpaces égaux chacun à l'eſpace parcouru dans la premiere ſeconde. D'où il ſuit que la vîteſſe d'un corps qui tombe, s'accroît à chaque inſtant dans la progreſſion arithmétique des nombres impairs, 1, 3, 5, 7, 9, &c. Il ſuit encore de là que la ſomme des eſpaces parcourus à la fin de chaque temps, eſt comme le quarré des temps. Car à la fin du premier temps, il n'y a qu'un eſpace parcouru; le quarré de 1 eſt 1: à la fin du ſecond temps, il y a 4 eſpaces parcourus, 1 dans le premier temps, 3 dans le ſecond; le quarré de 2 eſt 4: à la fin du troiſieme temps, il y a neuf eſpaces parcourus; le quarré de 3 eſt 9: à la fin du quatrieme temps,

16 espaces; le quarré de 4 est 16 : &c. La vraie raison de cette accélération, & suivant cette loi, est qu'un corps qui est tombé, pendant un temps donné, d'une quantité déterminée, a, à la fin de cette chûte, une vîtesse acquise, capable de le faire descendre, en vertu seulement de cette vîtesse acquise, & indépendamment de l'action de la pesanteur, d'une quantité double de l'espace qu'il a parcouru dans le premier temps. Supposons un corps qui est tombé de 15 pieds pendant 1 seconde : ce corps a, à la fin de cette chûte, une vîtesse acquise, capable de le faire tomber de 30 pieds pendant la seconde suivante : & comme la pesanteur est une force qui réside dans le corps même, qui agit continuellement sur lui, & aussi fortement à tous les instans de sa chûte qu'au commencement (214), il faut, pour l'action de la pesanteur, pendant la deuxieme seconde, ajouter aux 30 pieds, un espace de 15 pieds, égal à l'espace parcouru en vertu de la pesanteur pendant la premiere seconde. Voilà donc, de parcourus pendant la deuxieme seconde, trois espaces, dont chacun est égal à l'espace parcouru pendant la premiere seconde. On fera le même raisonnement pour les secondes suivantes.

217. Ceci n'est point une supposition gratuite : le Docteur *Athoowd* a imaginé un moyen simple de prouver par expérience que, lorsqu'un corps

est tombé, pendant un temps donné, d'une quantité déterminée, si l'on fait en sorte que la pesanteur cesse d'agir sur ce corps, il continue de tomber avec une vîtesse uniforme, & sans aucune accélération, en parcourant, dans chaque temps suivant, égal au premier, un espace double de celui qui a été parcouru dans le premier temps. Voici en quoi consiste l'essentiel de son instrument. Une poulie A (*fig.* 23.) de 6 ou 7 pouces de diametre, très-mobile & suspendue d'une maniere quelconque : deux corps cylindriques de métal B, C, parfaitement égaux entre eux en diametre & en poids : un cordon fort délié D E F : un petit poids G, d'environ 4 gros, rond & propre à être placé sur le corps B : un autre petit poids H, long & dont le poids soit parfaitement égal à celui du poids G : une tringle graduée K L : un cercle de métal I, qui puisse se fixer à la tringle graduée, & qui soit assez large pour laisser passer librement le corps B. Sur la poulie A, faites passer le cordon D E F, aux extrémités duquel vous attacherez les corps B, C. Ces deux corps étant égaux en poids, feront en équilibre entre eux : pour rompre cet équilibre, & faire descendre le corps B, chargez-le du poids G, & placez sa partie inférieure à la hauteur de o. Ayant un pendule qui mesure des temps égaux appropriés à la chûte de ce corps ; à la fin du premier temps, la partie inférieure du corps B

Fig. 23.

sera en 1 ; à la fin du second temps, elle sera en 4 ; à la fin du troisieme temps, elle sera en 9, &c. suivant la progression des nombres impairs établie ci-dessus (216). Maintenant, pour faire cesser l'action de la pesanteur sur ce corps B, reportez-le dans le haut, & faites de nouveau répondre sa partie inférieure à o : puis chargez-le du poids H au lieu du poids G ; & le laissez tomber. A la fin du premier temps, lorsque la partie inférieure du corps B répondra à 1, le poids H, qui est plus long que le diametre du cercle I, restera sur ce cercle ; ce qui ôtera au corps B son excès de poids sur celui du corps C, & fera cesser sur lui l'action de la pesanteur. Alors ce corps B continuera de se mouvoir avec une vîtesse uniforme, parcourant, dans chaque temps suivant, un espace double de celui qu'il aura parcouru dans le premier temps ; de sorte qu'à la fin du premier temps, sa partie inférieure répondant à 1, à la fin du second temps, elle répondra à 3 ; à la fin du troisieme temps, elle répondra à 5 ; à la fin du quatrieme, elle répondra à 7 ; à la fin du cinquieme, elle répondra à 9, &c. : au lieu que, si la pesanteur eût continué d'agir sur le corps B, il eût répondu à 9 à la fin du troisieme temps (216).

218. Pour bien entendre ceci, représentons, par des lignes, les temps & les vîtesses acquises. Fig. 24. Supposons la ligne AD (*fig.* 24.) représentant trois

trois temps égaux, AB, BC, CD. Ces temps, quelque courts qu'ils soient, peuvent être divisés en autant d'instans qu'on voudra : divisons-les chacun en 6 instans, A*a*, *ac*, *ce*, *eg*, *gi*, *i*B, &c. La pesanteur, agissant à tous les instans sur le corps qui tombe (214), lui fera acquérir à chaque instant une nouvelle vîtesse. Représentons la vîtesse acquise, à la fin du premier instant, par la ligne *ab*; la vîtesse acquise à la fin du second instant sera représentée par la ligne *cd*, double de la ligne *ab*, puisqu'elle est le produit d'une impulsion deux fois répétée. Par la même raison, la vîtesse acquise à la fin du troisieme instant sera représentée par la ligne *ef*; &c. & en conséquence la vîtesse acquise à la fin du sixieme instant, par la ligne BE, six fois aussi longue que *ab*, comme résultante de six impulsions successives : & le triangle ABE représentera l'espace parcouru pendant le premier temps AB. Supposons maintenant que la pesanteur cesse d'agir ; le corps continuera de se mouvoir avec sa vîtesse acquise BE, & parcourra, pendant le second temps BC, deux espaces égaux à l'espace parcouru pendant le premier temps AB. Car pour connoître l'espace parcouru pendant ce second temps, en vertu de la vîtesse acquise, il faut multiplier cette vîtesse BE par le temps BC (56) ; ce qui donne le quarré BCFE,

lequel contient deux triangles, BCE, FEC, égaux au triangle ABE qui repréſente l'eſpace parcouru pendant le premier temps AB. Mais comme la peſanteur agit dans le ſecond temps autant qu'elle a agi dans le premier, il faut ajouter pour l'action de la peſanteur, pendant ce ſecond temps, le triangle FHE; ce qui fera trois triangles, ou trois eſpaces égaux chacun à l'eſpace parcouru pendant le premier temps. On verra de même que, pendant le troiſieme temps CD, il y a cinq eſpaces parcourus : car, à la fin du ſecond temps, la vîteſſe acquiſe eſt repréſentée par CH : ſi donc l'on multiplie cette vîteſſe CH par le temps CD, on aura le parallélogramme CDIH, lequel contient quatre triangles, qui repréſentent les eſpaces parcourus en vertu des vîteſſes acquiſes : ajoutez le triangle IHK, pour l'action de la peſanteur pendant ce troiſieme temps, il complétera les cinq eſpaces parcourus pendant ce temps. Et ainſi de ſuite, on trouvera 7 eſpaces pour le quatrieme temps; 9 pour le cinquieme, &c.

219. Il ſuit de là qu'un corps tombé d'une certaine hauteur, pendant pluſieurs inſtans, ſe trouve avoir, à la fin de ſa chûte, une vîteſſe acquiſe capable de le faire monter, pendant le même nombre d'inſtans, auſſi haut que le point d'où il eſt deſcendu, ſi quelque cauſe change ſa

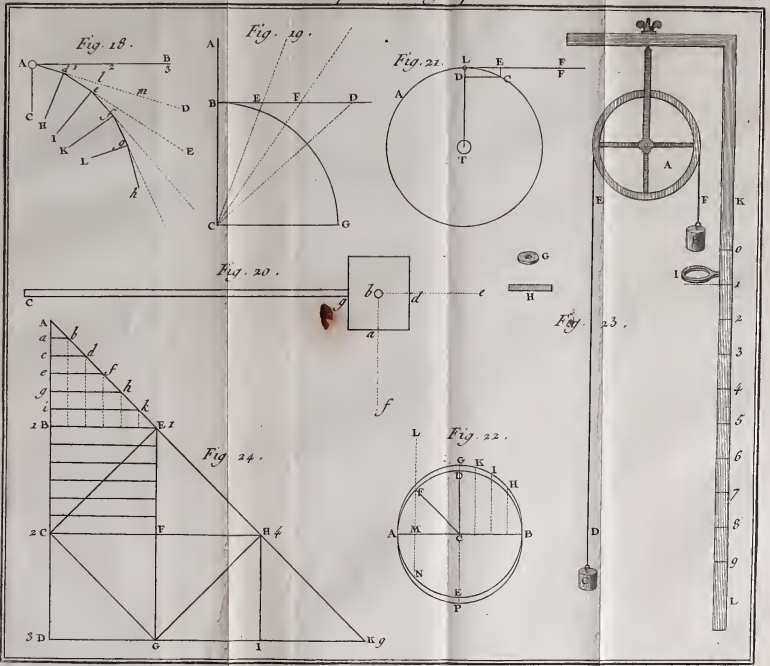


Fig. 18.
Fig. 19.
Fig. 21.
Fig. 20.
Fig. 23.
Fig. 24.
Fig. 22.
Bouard Direxit.

direction ; parce qu'en vertu de cette vîteſſe acquiſe, il a une force capable de le porter à un eſpace double de celui qu'il a parcouru (217). Mais, s'il remonte, l'action de ſa peſanteur en retranche la moitié : il ne peut donc monter qu'à une hauteur égale à celle d'où il eſt deſcendu. Cette vîteſſe eſt donc retardée, en montant, par l'action de ſa peſanteur, dans la même proportion que celle ſuivant laquelle elle a été accélérée en deſcendant : de ſorte qu'en montant, il parcourroit des eſpaces ſuivant la même progreſſion que celle ſuivant laquelle il les a parcourus en deſcendant, mais dans un ordre renverſé. Si donc il eſt tombé pendant quatre inſtans, il aura parcouru 1 eſpace dans le premier inſtant ; 3, dans le ſecond ; 5, dans le troiſieme ; & 7, dans le quatrieme (216). S'il remonte, il en parcourra 7 dans le premier inſtant ; 5, dans le ſecond ; 3, dans le troiſieme ; & 1, dans le quatrieme. Mais, de même que la réſiſtance de l'air retranche une partie de l'accélération de la peſanteur dans les corps qui deſcendent (207), de même elle ajoute à ſon retardement dans les corps qui montent. C'eſt pour cette raiſon qu'un corps élaſtique, qui eſt tombé ſur un autre corps élaſtique, tels qu'une bille d'ivoire ou d'acier tombée ſur un plan de marbre (leurs reſſorts fuſſent-ils parfaits),

ne peut jamais remonter auſſi haut que le point d'où il eſt deſcendu.

De tout ce que nous venons de dire, relativement à l'action de la peſanteur, il ſuit :

220. 1°. Que la force qui fait tomber les corps, eſt toujours uniforme, & qu'elle agit ſur eux également à chaque inſtant (214).

221. 2°. Que les corps tombent vers la terre avec une vîteſſe uniformément accélérée (216).

222. 3°. Que leurs vîteſſes ſont comme les inſtans de leur chûte (218).

223. 4°. Que les eſpaces qu'ils parcourent à chaque inſtant de leur chûte, ſuivent la progreſſion arithmétique des nombres impairs, 1, 3, 5, 7, &c. (216).

224. 5°. Que les eſpaces qu'ils parcourent pendant la durée de leur chûte, ſont comme les quarrés des temps, ou comme les quarrés des vîteſſes; & que par conſéquent les vîteſſes & les temps ſont en raiſon ſous-doublée des eſpaces (216).

225. 6°. Que l'eſpace qu'un corps parcourt, en tombant pendant un temps quelconque, eſt la moitié de celui qu'il parcourroit pendant le même temps avec une vîteſſe uniforme, en vertu de la vîteſſe acquiſe; & que par conſéquent cet eſpace eſt égal à celui que le corps parcourroit avec une vîteſſe uniforme, en vertu de la moitié de cette vîteſſe (217).

226. 7°. Que la force qui fait tomber les corps vers la terre, eſt la ſeule cauſe de leur poids ; car, puiſqu'elle agit à chaque inſtant (214), elle agit donc ſur les corps, ſoit qu'ils ſoient en repos, ſoit qu'ils ſoient en mouvement ; & c'eſt par les efforts que ces corps font ſans ceſſe pour obéir à cette force, qu'ils peſent ſur les obſtacles qui les retiennent.

227. Comme l'air réſiſte au mouvement des corps, & qu'il y réſiſte d'autant plus qu'il eſt frappé avec plus de vîteſſe (83) ; il en réſulte que quand un corps, en tombant, a acquis par accélération (216) un degré de vîteſſe, qui fait qu'il frappe le fluide auſſi vîte qu'il peut céder, & qui le met par conſéquent en équilibre avec le milieu réſiſtant, il continue de s'y mouvoir, mais avec une vîteſſe uniforme, & ſans aucune nouvelle accélération. Les corps qui tombent, arrivent d'autant plus tard à cette uniformité de vîteſſe, que la denſité du milieu eſt moindre, ou qu'ils ont moins de volume & plus de maſſe (208). Auſſi la grêle arrive-t-elle plus tard à cette uniformité de vîteſſe, que ne le fait la pluie ; & la pluie plus tard que la neige.

Phénomenes où le mouvement eſt compoſé de la peſanteur & de quelque autre puiſſance.

228. La peſanteur eſt une puiſſance dont nous

venons de voir la direction (202) & l'intenſité (202 *& ſuivant.*) Si l'on connoît les autres forces qui agiſſent conjointement avec elles ſur les corps, on jugera aiſément des réſultats ; parce qu'ils ſeront toujours conformes aux loix du mouvement compoſé, que nous avons établies ci-deſſus (160 *& ſuivant.*). Nous n'aurons donc à faire ici que des applications des principes du mouvement compoſé.

229. Quand un corps n'obéit pas complétement à ſa peſanteur, c'eſt qu'il eſt retenu par quelque obſtacle, ou ſollicité par quelque force active qui agit dans une autre direction que celle de ſa peſanteur. Si l'obſtacle y eſt directement oppoſé & invincible, tel que ſeroit un plan horizontal ſur lequel le corps ſeroit poſé, ou une corde qui le tiendroit attaché à un point fixe, le corps ſe trouve alors entre deux puiſſances égales & oppoſées ; ſavoir, d'une part l'action de ſa peſanteur, & d'autre part la réaction du point fixe ou du plan ſur lequel il repoſe : & le corps demeure en repos. Mais ſi l'obſtacle peut céder à la peſanteur, c'eſt le cas de deux forces dont l'une obéit à l'autre ſuivant la valeur de ſon excès ; & le mouvement demeure ſimple, mais retardé (160) ; comme cela arrive lorſque les corps peſans traverſent, en tombant, des milieux réſiſtans (207).

230. Si l'obſtacle n'eſt qu'obliquement oppoſé à la peſanteur, tel que ſeroit, par exemple, un plan incliné ou un fil de ſuſpenſion, ou bien une force active ou projectile, qui lanceroit le corps dans une autre direction que la perpendiculaire à l'horizon, alors le mouvement ſe compoſe de cette force & de celle de la peſanteur.

Chûte des corps par les plans inclinés.

231. Suppoſons d'abord un plan incliné. Un plan incliné eſt celui qui n'eſt ni vertical, comme *ac* (*fig.* 25.), ni horizontal, comme *cd*; mais qui, comme la ligne *ad*, forme un triangle avec ces deux premieres lignes, la verticale & l'horizontale. Ce plan eſt d'autant moins incliné, qu'il s'éleve davantage au deſſus du plan horizontal; ou, ce qui revient au même, que la ligne *ac* eſt plus longue comparativement à la ligne *cd*. Suppoſons que *ac* ſoit l'eſpace que le corps *a* parcourroit en deux temps, en tombant librement, & par une chûte directe & perpendiculaire; il parcourroit dans le premier temps *ab*, & dans le ſecond *bc*, trois fois auſſi long que *ab*, ſuivant les loix de l'accélération établies ci-deſſus (216). Mais ſi ce corps *a* eſt contraint de ſuivre le plan incliné *ad*, il ſe comporte préciſément comme il feroit, ſi, n'y ayant point de plan ſolide *ad* qui le ſoutînt, *Fig.* 25.

il étoit tiré dans le premier temps par une force af, dans une direction perpendiculaire au plan incliné ad, laquelle force continuât ensuite de faire dans tous les instans des angles égaux avec la direction de la pesanteur, & qui ne fît que varier d'intensité dans la même proportion que le fait la pesanteur elle-même. Dans le premier temps, le corps a, qui, en vertu de sa pesanteur, seroit porté de a en b, & qui, en vertu de la force que nous avons supposée, iroit de a en f, suivroit la ligne ae, diagonale du parallélogramme $abcf$, dont les deux puissances ab, af représentent deux côtés (162) : ce corps seroit donc beaucoup moins descendu, que s'il n'avoit suivi que l'impulsion de sa pesanteur ; puisqu'il ne seroit descendu que de la quantité ai, au lieu de la quantité ab. Pour le second temps, comme les forces ont trois fois autant d'intensité que dans le premier temps, il faut donc représenter la pesanteur par eg trois fois aussi longue que ab, & l'autre force par eh trois fois aussi longue que af ; ce qui donne pour le second temps la diagonale ek trois fois aussi longue que ae. Pour le troisieme temps, les forces étant représentées par kl & km, la diagonale sera kn cinq fois aussi longue que ae : & pour le quatrieme temps, la diagonale sera nd sept fois aussi longue que ae, &c.

De ces principes il suit :

232. 1°. Qu'un corps ne tombe jamais aussi vîte par un plan incliné, que par la ligne verticale, qui est sa direction naturelle : car s'il descendoit par la ligne verticale *ac*, il arriveroit en deux temps à l'abaissement *c* ; au lieu qu'en suivant le plan incliné *ad*, il n'arrive qu'en quatre temps en *d* (231) qui est au même degré d'abaissement que *c*.

233. 2°. Que, quoique les effets de la pesanteur soient retardés par les plans inclinés, cependant la chûte des corps, par ces plans, est accélérée suivant les mêmes loix & proportions (216), que lorsque la pesanteur agit seule & avec liberté (231). Car la ligne *ek*, qui est parcourue dans le second temps, est trois fois aussi longue que la ligne *ae*, parcourue dans le premier temps : & la ligne *kn*, parcourue dans le troisieme, est cinq fois aussi longue, &c.

234. 3°. Que la durée de la chûte par le plan incliné est plus longue que celle de la chûte par la ligne verticale, de la même quantité dont ce plan *ad* excede en longueur la ligne verticale *ac* : car *ad*, longueur du plan, est double en longueur de *ac*, hauteur du même plan ; & nous avons dit (231) que le corps qui n'emploieroit que 2 temps à parcourir *ac*, en emploieroit 4 à parcourir *ad*. D'où il suit, en général,

que *la durée de la chûte par un plan incliné quelconque, eſt à la durée de la chûte par la verticale de ce plan, comme la longueur du plan eſt à ſa hauteur.*

235. 4°. Que plus le plan eſt incliné à l'horizon, plus la chûte eſt retardée : car alors la longueur du plan excede davantage ſa hauteur. Et ſi ce plan devenoit horizontal, le corps, en le parcourant d'un bout à l'autre, ne tomberoit point du tout ; ſa chûte ſeroit nulle.

236. Un corps qui eſt contraint de ſuivre un plan incliné, ne tend donc pas à tomber avec toute ſa peſanteur abſolue, comme il le feroit, s'il tomboit librement par une ligne verticale ; il y eſt ſeulement ſollicité par ſa peſanteur reſpective, c'eſt-à-dire, par la portion de l'effort de ſa peſanteur qui n'eſt pas vaincu par le plan incliné. Et la peſanteur reſpective d'un même corps varie ſuivant l'inclinaiſon du plan qu'il eſt obligé de ſuivre. D'où il ſuit :

237. 1°. Que, ſi l'on prend pour ſinus total la longueur *ad* du plan, ſa hauteur *ac* ſera le ſinus de l'angle d'inclinaiſon *adc* : la peſanteur abſolue du corps *a*, qui eſt obligé de ſuivre ce plan incliné, eſt donc à ſa peſanteur reſpective, comme le ſinus total eſt au ſinus de l'angle d'inclinaiſon.

238. 2°. Que les peſanteurs reſpectives du

même corps, sur différens plans inclinés, sont l'une à l'autre comme les sinus des angles d'inclinaison.

239. 3°. Que plus l'angle d'inclinaison est grand, plus aussi est grande la pesanteur respective; car alors le plan est moins incliné, & soutient moins le corps.

240. 4°. Que dans un plan vertical, où l'angle d'inclinaison est le plus grand, puisqu'il est formé par une perpendiculaire, la pesanteur respective est égale à la pesanteur absolue : & dans un plan horizontal, où il n'y a aucune inclinaison, la pesanteur respective s'anéantit totalement; car alors le plan porte le poids entier du corps.

241. L'espace parcouru sur un plan incliné par un corps pesant, dans un temps donné, est à l'espace que ce corps parcourroit, pendant un temps égal, dans un plan perpendiculaire, comme la hauteur de ce plan est à sa longueur; & par conséquent comme le sinus de l'angle d'inclinaison est au sinus total (237).

242. Car la hauteur AB (*fig.* 26) d'un plan incliné est toujours moyenne proportionnelle entre la longueur AC de ce plan, & l'espace AD qu'un corps pesant parcourroit sur ce plan pendant un temps égal à celui qu'il lui faudroit pour tomber perpendiculairement de la hauteur AB de ce même plan. Si donc de l'angle droit B l'on *Fig.* 26.

tire une perpendiculaire BD sur AC, on aura AC : AB :: AB : AD. Donc un corps pesant, descendant sur ce plan incliné, viendroit du point A en D dans le même temps qu'il tomberoit perpendiculairement du point A au point B.

243. C'est pourquoi, étant donné l'espace AB de la chûte perpendiculaire, pendant un temps déterminé, suivant la hauteur du plan ; si l'on tire une perpendiculaire du point B, terme de cette chûte, sur AC, on a l'espace AD qui doit être parcouru dans le même temps sur le plan incliné AC.

244. Pareillement, étant donné l'espace AD parcouru sur le plan incliné AC, pendant un temps déterminé, on trouve l'espace AB qui feroit parcouru perpendiculairement dans le même temps, en abaissant du point D, une perpendiculaire à AC, qui rencontre le plan vertical en B.

245. D'où il suit que dans le cercle ADEFBG (*fig.* 27), un corps pesant descendra par l'un quelconque de ces plans inclinés, AD, ou AE, ou AF, ou AG, &c. dans un temps égal à celui qu'il lui faudroit pour tomber par le diametre AB, en le supposant perpendiculaire au plan horizontal HI. Car ce diametre AB est toujours moyenne proportionnelle (242) entre le plan AD, par exemple, & la longueur du plan incliné AL, dont ce plan AD fait partie ; ou entre le plan AF,

Fig. 27.

& la longueur du plan incliné A H, dont ce plan A F fait partie, &c.

246. Pareillement, si le diametre A B d'un cercle est perpendiculaire à la ligne horizontale H I, un corps pesant descendra d'un point quelconque, ou D, ou E, ou F, ou G, &c. de la circonférence de ce cercle, en suivant les plans inclinés, ou D B, ou E B, ou F B, ou G B, &c. dans le même temps qu'il descendroit par le diametre A B, posé verticalement. Cela se déduit aisément de l'article précédent (245) : car il n'y a aucun de ces plans qui ne puisse avoir son parallele & égal, tiré de l'extrémité supérieure A du diametre.

247. D'où suit cette proposition générale : Qu'*un corps emploie, pour descendre obliquement par une corde quelconque d'un cercle, autant de temps qu'il lui en faudroit pour tomber par le diametre entier de ce même cercle, posé verticalement.* Car toutes ces lignes, A D, A E, A F, A G, D B, E B, F B, G B, sont autant de cordes de ce cercle ; & nous venons de voir (245 & 246) que chacune de ces lignes est parcourue par un corps pesant dans un temps égal à celui qu'il emploieroit à parcourir le diametre A B, posé verticalement. De plus, toute ligne tirée d'une extrémité B du diametre à un point D de la circonférence, est perpendiculaire à la ligne tirée de

l'autre extrémité A au même point D : elle marque donc le terme de la chûte par le plan incliné AD (243).

248. Il suit encore de là, que, si l'on conçoit AB comme le diametre d'un cercle, & que l'on prenne cette ligne pour le produit de la chûte perpendiculaire dans un temps donné ; la circonférence de ce cercle passera par toutes les extrémités D, E, F, G, &c. de toutes les chûtes obliques, achevées dans le même temps. Cette méthode, une fois connue, est très-simple pour connoître tout d'un coup le rapport des chûtes obliques entre elles, ainsi qu'avec la chûte perpendiculaire ; car il n'y a point de ligne qu'on ne puisse supposer être le diametre d'un cercle.

Fig. 26. 249. Etant donné l'espace AD (*fig.* 26) parcouru, dans un temps déterminé, sur un plan incliné AC ; si l'on veut déterminer l'espace qui seroit parcouru, dans le même temps, sur un autre plan incliné : du point D abaissez, comme nous l'avons dit ci-dessus (244), une perpendiculaire DB qui rencontre la verticale AB au point B ; la longueur AB sera l'espace que le corps parcourra pendant ce même temps, en tombant perpendiculairement. C'est pourquoi, si du point B on éleve une perpendiculaire BE sur le plan AF, AE sera la partie de ce plan incliné que le corps parcourra dans le même temps qu'il tomberoit per-

pendiculairement du point A au point B ; & par conſéquent dans le même temps qu'il parcourroit la partie AD dans l'autre plan incliné AC.

250. Ainſi, puiſque AB eſt à AD, comme le ſinus total AC eſt au ſinus AB de l'angle d'inclinaiſon C (242) ; & que AB eſt à AE, comme le ſinus total AF eſt au ſinus AB de l'angle d'inclinaiſon F : les eſpaces AD, AE, que le corps parcourt dans le même temps ſur différens plans inclinés, ſeront réciproquement comme les longueurs AC, AF, des plans d'égale hauteur ; c'eſt-à-dire que AD ſera à AE, comme AF eſt à AC.

251. Les vîteſſes acquiſes dans le même temps, par les chûtes d'un corps ſur différens plans inclinés, ſont comme les eſpaces parcourus dans le même temps. Elles ſont auſſi réciproquement comme les longueurs AC, AF, des plans d'égale hauteur ; c'eſt-à-dire que la vîteſſe acquiſe par la chûte d'un corps par la ligne AD, eſt à la vîteſſe acquiſe par la chûte du même corps par la ligne AE, comme AF eſt à AC.

252. Si l'on donne à un corps une impulſion pour le faire monter, ſuivant une direction quelconque, perpendiculaire ou oblique (ſuppoſons que ce ſoit dans un milieu non réſiſtant ; ou faiſons abſtraction de la réſiſtance du milieu), la vîteſſe de ce corps ſera retardée par ſa peſanteur,

comme elle ſeroit accélérée, s'il deſcendoit (216); & les eſpaces que ce corps parcourra en temps égaux, décroîtront dans un ordre renverſé, comme les nombres impairs 7, 5, 3, 1 (219). Et quand la force imprimée ſera épuiſée, le corps redeſcendra par l'effort de ſa peſanteur.

253. D'où il ſuit, qu'étant donné le temps qu'un corps emploie à monter à une hauteur donnée, il eſt aiſé de déterminer l'eſpace parcouru à chaque inſtant par ce corps. Car, ſuppoſez que ce corps deſcendît de cette même hauteur dans le même temps, il ſeroit aiſé de trouver quel eſt l'eſpace parcouru à chaque inſtant: en prenant ces eſpaces dans un ordre renverſé, ils ſeront les mêmes que ceux que l'on cherche. Suppoſez, par exemple, qu'un corps jeté perpendiculairement monte à une hauteur de 240 pieds pendant le temps de 4 ſecondes; & que l'on cherche quels ſont les eſpaces qui ſont parcourus dans les différens temps de cette aſcenſion. Si le corps étoit deſcendu, l'eſpace parcouru dans la premiere ſeconde auroit été 15 pieds (204); dans la ſeconde ſuivante, 45 pieds; dans la troiſieme ſeconde, 75 pieds; dans la quatrieme, 105 pieds (216). Par conſéquent l'eſpace parcouru en remontant ſera, dans la premiere ſeconde, 105 pieds; dans la ſeconde ſuivante, 75 pieds; dans la troiſieme, 45 pieds; & dans la quatrieme, 15 pieds. Alors le

corps

corps recommenceroit à descendre comme ci-dessus.

254. D'où il suit qu'un corps qui s'éleve avec une certaine vîtesse, monte à une hauteur égale à celle d'où il faut qu'il tombe, pour acquérir, par l'accélération de sa chûte (216), la vîtesse initiale avec laquelle il a monté.

255. Donc, réciproquement, un corps qui tombe, acquiert, par l'accélération de sa chûte, une vîtesse capable de le faire remonter à la hauteur d'où il est tombé. Et comme la vîtesse des corps qui tombent obliquement ou par des plans inclinés, est accélérée suivant les mêmes loix & proportions, que lorsque la pesanteur agit seule (233), il importe peu dans quelle direction se fassent & la chûte & l'ascension.

256. Ainsi, quoique la vîtesse d'un corps qui descend par un plan incliné, soit toujours moindre que celle du même corps qui tomberoit perpendiculairement (232), il est cependant vrai (& l'expérience le prouve) qu'à chaque point de sa chûte oblique, sa vîtesse acquise est égale à celle qu'il auroit, s'il étoit tombé perpendiculairement d'une hauteur semblable : la seule différence qu'il y a, c'est qu'il lui faut plus de temps pour acquérir cette vîtesse par une chûte oblique, que par une chûte perpendiculaire. Si un corps descend par le plan incliné *a d* (*fig.* 28), ou successivement par *Fig.* 28.

les trois plans différemment inclinés, *ab*, *bc*, *cd*; ou par l'arc de cercle *abcod*; ou par la courbe *mnod*, il a, lorsqu'il est arrivé en *d*, une vîtesse acquise, égale à celle qu'il auroit, s'il étoit tombé perpendiculairement de la hauteur *hd*: & cette vîtesse est capable de le faire remonter jusqu'en *g*, hauteur égale à celle de *h* ou de *m* & *a*, points d'où le corps est supposé parti (255). Il est vrai qu'il lui faut plus de temps pour acquérir cette vîtesse: car il tombe plus vîte par la ligne verticale *hd*, que par la courbe *mnod*; plus vîte par cette courbe, que par l'arc de cercle *abcod*; plus vîte par cet arc de cercle, que par les trois plans différemment inclinés *ab*, *bc*, *cd*; plus vîte par ces trois plans, que par le plan unique *ad*, quoique ce plan unique soit un chemin plus court que les trois autres. En voici la raison.

257. Si le corps parcourt les trois plans inclinés *ab*, *bc*, *cd*, en les parcourant, il sera soutenu successivement sur des plans d'autant plus inclinés, qu'il approchera davantage du terme de sa chûte *d*: & il est évident, après ce que nous avons dit ci-dessus (235), que si l'effort de la pesanteur étoit uniforme, il mettroit plus de temps à parcourir le plan *cd*, qu'il n'en mettroit à parcourir le plan *ab*, parce que ce premier plan est plus incliné que l'autre. Mais, à cause de l'accélération de la chûte (233), lorsque le corps se trouve en *c*, après avoir

parcouru les deux plans *a b*, *b c*, il a des vîtesses acquises qu'il n'auroit pas, s'il commençoit à tomber du point *c*; & ces vîtesses sont d'autant plus grandes, que le commencement de la chûte a été plus prompt. Or ce commencement est d'autant plus prompt, que le premier plan parcouru est moins incliné, ou fait avec la verticale un angle plus aigu (235). Il est aisé de voir, par la figure, que le premier élément de l'arc de cercle *a b c o d* fait avec la verticale *a p* un angle plus aigu que celui que fait avec la même verticale le plan incliné *a b*; le commencement de la chûte est donc plus prompt par l'arc que par le plan: voilà pourquoi le corps tombe plus vîte par l'arc *a b c o d*, que par les trois plans *a b*, *b c*, *c d*. Par la même raison, le plan *a b* faisant avec la verticale *a p* un angle plus aigu que celui que fait avec la même verticale le plan *a d*, le corps tombe plus vîte par les trois plans *a b*, *b c*, *c d*, que par le plan unique *a d*, quoique ce dernier chemin soit plus court. C'est encore la raison pour laquelle le corps tombe plus vîte par la courbe *m n o d*, que par l'arc *a b c o d*; car le premier élément *m* de cette courbe fait avec la verticale *m r* un angle plus aigu, que celui que fait le premier élément *a* de l'arc avec la verticale *a p*. Cette courbe *m n o d* est appelée *Cycloïde*; elle est fameuse en mécanique, par l'usage qu'en fit *Huyghens*, lorsqu'il

appliqua le pendule aux horloges (266). Elle eſt auſſi appelée la *Courbe de la plus prompte deſcente*. Elle eſt formée par la révolution d'un point de la circonférence d'un cercle, qui ſe développe ſur une ligne droite.

Mouvement d'Oſcillation.

258. Ceci nous conduit à parler du mouvement d'*Oſcillation*; car le corps qui oſcille, le fait en vertu de ſa peſanteur.

On appelle *Oſcillation* ou *vibration du pendule* le mouvement d'un corps lourd, attaché, par un fil ou par une verge, à un point fixe autour duquel il décrit un arc. Tel eſt le corps A (*fig.* 29) attaché au point fixe C, par le fil CE, & qui décrit l'arc BAD. La vraie cauſe de ce mouvement eſt la peſanteur du corps A : car ſi l'on porte ce corps de A en B, & qu'on l'abandonne à lui-même, en vertu de ſa peſanteur, il tomberoit ſuivant la direction BH perpendiculaire à l'horizon (202); mais étant retenu, par le fil C*e*, à une diſtance toujours égale du point C, il ne peut deſcendre qu'en décrivant l'arc BA. Lorſqu'il eſt arrivé au point le plus bas en A, il a acquis, par l'accélération de ſa chûte, une vîteſſe égale à celle qu'il auroit acquiſe en tombant verticalement de la hauteur IA (256), laquelle eſt capable de le porter, dans un temps égal à celui de ſa chûte, à

Fig. 29.

une hauteur égale à celle d'où il eſt deſcendu (255): il ſe porte donc en D, en décrivant l'arc AD, ſa vîteſſe retardant à chaque inſtant dans la même proportion que celle dans laquelle elle a été accélérée en deſcendant (253). Arrivé au point D, il ne peut pas aller plus loin, parce qu'il a conſommé tout ſon mouvement (253). Il ne peut pas demeurer là, parce que ſa peſanteur le ſollicite à deſcendre; & comme il eſt dans le même cas où il étoit au point B, il retourne de D en A & de A en B; & ainſi de ſuite pour les oſcillations ſuivantes. De ſorte que, ſi ce corps n'éprouvoit point de réſiſtance de la part de l'air (84), & qu'il n'y eût point de frottement au point de ſuſpenſion C (96), ce mouvement ſeroit perpétuel. Il ne ceſſe donc que par ces cauſes, qui, quoiqu'accidentelles, ſont cependant inévitables dans la Nature.

259. Le corps A ſuſpendu par le fil CE au point fixe C, autour duquel il peut décrire des arcs plus ou moins grands, tels que BD, FG, &c. eſt ce qu'on appelle un *Pendule*. Le centre de gravité du corps A, qui décrit les arcs, ſe nomme *Centre d'oſcillation*; & le point fixe C s'appelle *Centre de mouvement*.

260. On diſtingue deux ſortes de pendules; le ſimple & le compoſé. Le pendule ſimple ſeroit celui dont le fil de ſuſpenſion n'auroit aucune peſanteur, & dont le corps lourd A ne peſeroit

que par un seul point, appelé son centre de gravité (259), comme si, par exemple, toute sa pesanteur résidoit au centre. Le pendule composé est celui qui pese par plusieurs points: & c'est-là le cas ordinaire, puisque la verge de suspension est ordinairement de métal; & quand elle seroit de bois ou de quelque autre matiere, ce seroit le même cas, car elle ne seroit pas sans pesanteur. D'où l'on doit conclure que tous nos pendules sont composés. Cependant la plupart des choses que nous avons à dire sur le pendule, doivent s'entendre du plus simple.

261. La durée de chaque vibration d'un pendule se déduit de la longueur de ce pendule, c'est-à-dire, de l'intervalle qu'il y a entre son centre de mouvement & son centre d'oscillation (259). Car nous avons prouvé ci-dessus (247) qu'un corps emploie, pour descendre obliquement par une corde quelconque d'un cercle, un temps égal à celui qu'il emploie à tomber verticalement par le diametre entier de ce même cercle. Mais un pendule CB descend par l'arc BFA (258), & non pas par la corde BA; & sa chûte par l'arc est plus prompte que par la corde (256 & 257). S'il suivoit la corde, il emploieroit donc, à faire sa demi-vibration, un temps égal à celui qu'il lui faudroit pour tomber verticalement par le diametre d'un cercle, dont sa longueur CA

eſt le rayon : mais il y a une proportion réglée entre la chûte par l'arc & la chûte par la corde : elle eſt, à très-peu de choſe près, comme 51 à 65. Il y a donc la même proportion entre la chûte par l'arc & la chûte par le diametre, lequel eſt déterminé par la longueur du pendule.

262. D'où il ſuit qu'un pendule dont la longueur eſt conſtante, doit faire toutes ſes vibrations, grandes ou petites, iſochrones ou de même durée, dans le même lieu : c'eſt donc l'inſtrument le plus propre à meſurer des temps égaux. *Galilée*, qui le premier a fait des recherches ſur le mouvement du pendule, s'en eſt ſervi avec beaucoup de ſuccès pour ſes obſervations & ſes expériences ; ce qui lui a valu une exactitude & une préciſion qu'il auroit eu bien de la peine à ſe procurer autrement. La durée de la demi-vibration d'un pendule qui bat les ſecondes à Paris & aux environs, eſt la même que celle d'une chûte perpendiculaire de 3 pieds 9 pouces dans les mêmes lieux (216) ; & par conſéquent la même que celle de la chûte par une corde quelconque d'un cercle de 3 pieds 9 pouces de diametre (247). Cependant le diametre du cercle dont ce pendule à ſecondes décrit l'arc, eſt de 6 pieds 1 pouce $5\frac{4}{10}$ lignes ; car, ſuivant M. *de Mairan*, un tel pendule doit avoir à Paris pour longueur 3 pieds $8\frac{17}{10}$ lignes. Si donc ce pen-

dule, au lieu de parcourir l'arc, parcouroit la corde, la durée de sa demi-vibration seroit de plus d'une demi-seconde; elle seroit, comme nous venons de le dire (261), plus longue que par l'arc dans la proportion de 65 à 51.

263. Si ce pendule étoit ou plus court ou plus long, la durée de ses vibrations seroit de même ou plus courte ou plus longue; parce qu'il répondroit à une chûte verticale ou plus petite ou plus grande, puisque sa longueur est toujours le rayon du cercle dont le diametre mesure la hauteur de cette chûte verticale. Les durées des vibrations de pendules de différentes longueurs sont entre elles en raison sous-doublée de leurs longueurs, ou comme les racines quarrées de ces longueurs, à cause de l'accélération de la chûte des corps; car un corps qui tombe, parcourt, dans le second instant, un espace triple de celui qu'il a parcouru dans le premier (216). C'est pourquoi, pour qu'un pendule mesure des temps doubles, il faut lui donner une longueur quadruple. Un pendule, dont la durée d'une vibration est à Paris d'une seconde, a pour longueur 3 pieds $8\frac{17}{10}$ lignes: pour que cette durée soit de deux secondes, il faut lui donner une longueur de 12 pieds 2 pouces $10\frac{5}{10}$ lignes. Telle est la longueur du pendule de l'horloge de l'Hôtel de Ville de Paris. Et pour que la durée

d'une vibration d'un pendule ne soit que d'une demi-seconde, il faut que sa longueur ne soit que le quart de celle du pendule qui bat les secondes, c'est-à-dire, que cette longueur ne soit que de 9 pouces $2\frac{17}{120}$ lignes. Telle est la longueur des pendules des horloges à demi-secondes.

264. Cette longueur du pendule, dont nous venons de parler, n'est pas égale à la longueur totale de l'instrument appelé *Pendule* : elle est égale à la distance qu'il y a entre son centre d'oscillation & son centre de mouvement (259). Le centre de mouvement est le point de suspension : & le centre d'oscillation est un point qui, étant pris dans la ligne de suspension d'un pendule composé, soit tel que, si toute la gravité du pendule, supposé oscillant, s'y trouvoit rassemblée, les oscillations se feroient dans un temps égal à celui qu'emploie ce pendule composé à faire les siennes. Dans un tel pendule, ce point se trouve, dans tous les cas, au dessous du centre de gravité. Les oscillations de ce pendule sont toujours égales en durée à celle d'un pendule simple (260), qui auroit pour longueur la distance de ce centre d'oscillation au point de suspension ou centre de mouvement. Ainsi, chercher le centre d'oscillation d'un pendule composé, c'est donc toujours chercher la longueur du pendule simple qui feroit ses vibrations dans le

même temps que le pendule composé. Pour trouver la longueur de ce pendule simple, on peut faire usage de ce que nous avons dit ci-dessus (261, 262, 263). Si l'on est curieux de voir ce qui a été fait de mieux, relativement à la recherche du centre d'oscillation, on le trouvera dans un Mémoire de feu M. *Bernoulli*, de l'Académie des Sciences de Paris, & Professeur à Bâle, imprimé parmi ceux de l'Académie, pour l'année 1703, *pag.* 78.

265. Nous avons dit ci-dessus (262) que *Galilée* s'étoit servi avec succès du pendule, pour mesurer des temps égaux. Mais la maniere dont il en a fait usage, demandoit trop de soins, pour que cet instrument fût à la portée de tout le monde. Il falloit ranimer le mouvement, qui étoit à chaque instant ralenti par la résistance de l'air : de plus, il falloit compter les vibrations l'une après l'autre, pour en avoir la somme. *Huyghens* a fait du pendule une application beaucoup plus utile, & dont tout le monde peut profiter, en le joignant aux horloges pour régler leur mouvement. Ces sortes de machines sont, comme l'on sait, animées par un ressort ou par un poids qui met en mouvement plusieurs roues, par le moyen desquelles les aiguilles parcourent les graduations du cadran. Pour empêcher ce mouvement de se précipiter, il est retenu par un

modérateur : tel eſt encore le balancier dans les montres de poche. C'eſt donc à ce modérateur imparfait que *Huyghens* a ſubſtitué le pendule, en l'adaptant à la piece d'échappement, qui eſt celle qui regle le mouvement de toutes les roues; afin que ces vibrations, dont la durée eſt toujours égale (262); tant que ſa longueur demeure la même, puſſent rectifier les petites irrégularités de la machine.

266. On remarqua enſuite que les oſcillations d'un pendule, qui ſe font par des arcs plus ou moins grands, quoique d'un même cercle, ne ſont pas d'une durée parfaitement égale : celles qui ſe font dans de grands arcs, y emploient des temps plus longs : les différences, à la vérité, ſont inſenſibles, quand on ne les conſidere que pendant un temps court & pour un petit nombre de vibrations : mais elles deviennent très-ſenſibles quand elles ſont accumulées pendant un temps plus conſidérable, ou que les arcs different ſenſiblement en amplitude. C'eſt ce qui engagea *Huyghens* à chercher une courbe d'oſcillation dans laquelle il fût abſolument indifférent que le pendule meſurât de grands ou de petits arcs. Il trouva que la cycloïde avoit la propriété qu'il cherchoit (1), & il la ſubſtitua au cercle. Pour

(1) Hiſtoire de l'Acad. des Scienc. année 1700, p. 140.

cela, il rendit flexible la partie supérieure CM (*fig.* 30.) de la verge du pendule CA, & plaça de chaque côté du centre C du mouvement, une portion de cycloïde CE & CF, dont le cercle générateur H avoit pour diametre la moitié de la longueur du pendule CA (257). Moyennant cela, lorsque le pendule fait ses oscillations, la partie flexible CM de sa verge est contrainte de s'envelopper alternativement sur les deux portions de cycloïde CE & CF; ce qui rapproche le corps A du centre C de mouvement, & ce qui l'oblige de se mouvoir dans l'arc de cycloïde EAF, & non pas dans l'arc de cercle BAD. Or la cycloïde est une courbe d'une nature telle, qu'un pendule qui s'y meut, arrive toujours dans des temps égaux au point A le plus bas, quelle que soit la hauteur d'où il commence à tomber; de maniere que toutes ses vibrations, grandes ou petites, sont parfaitement isochrones ou d'égale durée. *Fig.* 30.

267. Cette invention, quoique très-ingénieuse, n'a pas été d'un long usage. La grande difficulté qu'il y a de former des arcs cycloïdaux bien exacts, & l'inconvénient de rendre flexible la partie supérieure de la verge, l'ont fait abandonner très-promptement; d'autant mieux qu'on a remarqué que le cercle & la cycloïde se confondent presque dans la partie inférieure GI: de maniere

qu'en ne faisant décrire par le pendule que des arcs d'une très-petite étendue, il est presque égal de lui faire faire ses oscillations dans le cercle ou dans la cycloïde. C'est en effet le parti que l'on a pris depuis dans l'horlogerie. Il faut cependant avouer que ces petits arcs, quelque peu étendus qu'ils soient, n'équivalent pas aux arcs de cycloïde; car quand ils deviennent plus ou moins étendus dans un temps que dans un autre (ce qui ne manque pas d'arriver de temps en temps par une cause que j'ignore), cela influe toujours sur le mouvement de la machine : quand ils prennent plus d'amplitude, l'horloge retarde toujours; quand ils en prennent moins, elle avance, quoique le corps qui oscille, ne s'éleve que d'un degré par son mouvement moyen : ainsi la cycloïde seroit préférable au cercle, sans les inconvéniens dont nous venons de parler.

268. Nous avons dit (262) que toutes les vibrations d'un pendule sont de même durée tant que sa longueur est la même : il faut ajouter à cela que c'est à condition que ce sera dans le même lieu, ou du moins dans un lieu d'une latitude semblable, puisque les pendules tombent d'autant plus lentement que la latitude du lieu est moindre, comme nous l'avons prouvé ci-dessus (212), d'après l'expérience faite à Caïenne en 1672, par M. *Richer*. Pour que plusieurs pen-

dules, placés en différens lieux, mesurent tous des temps égaux, il faut donc qu'ils aient plus de longueur vers les pôles que vers l'équateur. Voyez, au *N°.* 264, ce qui mesure cette longueur. Je sais bien qu'on peut objecter que la chaleur qui regne à Caïenne avoit alongé le pendule, ce qui lui faisoit mesurer des temps plus longs : cet effet de la chaleur y contribue sans doute ; mais il n'est pas suffisant, car un pendule qui bat les secondes à Paris, seroit de $1\frac{1}{4}$ ligne trop long près de l'équateur ; & l'expérience prouve que la chaleur de l'eau bouillante (bien supérieure à celle qui regne dans l'air à Caïenne) n'alonge que d'un tiers de ligne une verge de pendule. Il faut donc qu'à la chaleur se joigne une autre cause ; & c'est la force centrifuge.

269. Un pendule ne peut mesurer des temps égaux dans le même lieu, qu'autant que sa longueur demeure constamment la même (263) : mais la chaleur, dont nous venons de parler, fait continuellement varier cette longueur. Tous les corps changent de dimensions par le chaud & le froid (1134) : la même chose arrive à la verge du pendule. La chaleur la fait alonger, le froid la raccourcit. On a pensé à remédier à cet inconvénient, en opposant à elle-même la cause physique d'où il procede ; c'est-à-dire, en faisant en sorte que la même chaleur qui fait

alonger la verge du pendule, faſſe auſſi remonter d'autant le centre d'oſcillation du même pendule, afin qu'il demeure toujours la même diſtance entre ce dernier point & le centre de mouvement ou le point de ſuſpenſion, puiſque c'eſt cette diſtance qui détermine la longueur du pendule (264). M. *Graham*, fameux Horloger de Londres, eſt le premier à qui cette idée s'eſt offerte, & qui a commencé à la mettre en exécution, en ſubſtituant, à la lentille du pendule, un vaſe cylindrique preſque plein de mercure, lequel mercure, étant ſoutenu ſur le fond du vaſe, porte ſa raréfaction vers le haut, & fait ainſi remonter le centre d'oſcillation, à meſure que ce même centre deſcend par l'alongement de la verge. Enſuite M. *Julien le Roy*, à Paris, & M. *Ellicot*, à Londres, ont fait uſage, pour parvenir au même but, d'un moyen plus commode. Ils ont employé tous deux, quoique par des procédés différens, l'excès de l'alongement du cuivre ſur celui de l'acier par le même degré de chaleur (1138). C'eſt ce que l'on fait à préſent dans l'Horlogerie. La maniere la plus ſimple & la plus uſitée, eſt celle qui ſuit. La verge C*b* (*fig.* 31.) qui porte le corps grave O, que l'on appelle *Lentille*, parce qu'on lui en donne ordinairement la forme, laquelle verge eſt d'acier, & compoſée de deux pieces ſéparées C*a* & *ab*. La piece ſupérieure C*a* *Fig.* 31.

eſt fixée à un châſſis compoſé de deux traverſes de cuivre jaune *df*, & *eg*, & de deux verges d'acier *de* & *fg*. La piece inférieure *ab* eſt attachée, par le moyen d'une goupille, à la petite traverſe de cuivre *kh*, & gliſſe librement dans un trou pratiqué à la traverſe inférieure *eg*: *kl* & *hi* ſont deux verges de cuivre jaune, fixées à demeure ſur la traverſe inférieure *eg*, & dont les extrémités ſupérieures s'appliquent deſſous la traverſe *kh*. Si la chaleur vient à raréfier tout cet aſſemblage, la verge C *ab* du pendule s'alonge; ce qui fait éloigner la lentille O du point de ſuſpenſion C; mais la même chaleur alongeant les deux verges de cuivre *kl* & *hi* plus qu'elle n'alonge les deux verges d'acier correſpondantes *de* & *fg*, l'excès de l'alongement du cuivre (qui ne peut pas ſe porter en bas) fait remonter la traverſe *kh* vers la traverſe *df*; ce qui fait rapprocher la lentille O du point de ſuſpenſion C. Si le tout eſt bien proportionné, la lentille remonte autant par l'excès de l'alongement du cuivre, qu'elle deſcend par l'alongement de l'acier; &, par ce moyen, le centre d'oſcillation O ſe trouve toujours également diſtant du centre de mouvement C. Pour que la proportion ſoit exacte comme elle doit l'être, il faut que la longueur de chaque verge de cuivre ſoit à la longueur du pendule, comme la raréfaction de l'acier eſt à celle

celle du cuivre jaune, c'eſt-à-dire qu'il faut que les longueurs de ces verges de métal ſoient en raiſon inverſe de leurs raréfactions. La raréfaction de l'acier eſt à celle du cuivre jaune, ſuivant M. *Berthoud*, Horloger, comme 74 eſt à 121, ce qui eſt, à très-peu de choſe près, comme 3 eſt à 5.

Mouvement de Projection.

270. Tous les corps jetés ou lancés hors de la perpendiculaire à l'horizon, ſe meuvent d'un mouvement compoſé de deux forces; ſavoir, la force de la peſanteur, & la force qui les lance, que l'on nomme ordinairement *force projectile*. Telle eſt, par exemple, l'impulſion du bras qui jette une pierre, ou celle de la poudre qui chaſſe une bombe ou un boulet. La force projectile ſeroit uniforme, c'eſt-à-dire qu'elle feroit parcourir au mobile des eſpaces égaux en temps égaux, ſi la réſiſtance des milieux (*76 & ſuiv.*) & des frottemens (*96 & ſuiv.*) n'y mettoit pas d'obſtacles. Quoique ces obſtacles ſoient inévitables, nous en ferons cependant abſtraction, parce qu'il eſt plus ſimple & plus facile de faire connoître ce qui ſeroit, ſi ces obſtacles n'exiſtoient pas, que de dire exactement ce qui arrive dans l'état naturel.

271. Nous avons vu quelle eſt la direction de

la pesanteur (202), ainsi que son intensité ou la quantité de son action sur les corps (203 *& suiv*). Si l'on connoît la direction & l'intensité de la force projectile, pour connoître l'effet du mouvement composé de ces deux forces, il suffira d'y appliquer les regles du mouvement composé en ligne courbe, que nous avons établies ci-dessus (168 *& suivant.*) : les résultats y seront conformes. Je dis, les regles du mouvement composé en ligne courbe ; parce qu'ici les puissances changent de rapports entre elles : car la force projectile est uniforme de sa nature, & la force de la pesanteur est accélératrice.

272. Si la direction de la force projectile tend de bas en haut & qu'elle soit perpendiculaire à l'horizon, elle est directement opposée à la direction de la pesanteur (202) : le mouvement du mobile sera donc l'effet de la force projectile, moins celui de la pesanteur ; & le mouvement demeurera simple ; mais la vîtesse sera moindre que ne l'exige la force projectile (252). Il arrive à ce mobile ce qui arriveroit à un corps qui remonteroit en vertu des vîtesses qu'il auroit acquises par une chûte accélérée (254) ; c'est-à-dire que ce mobile monte à une hauteur égale à celle d'où il faudroit qu'il tombât, pour acquérir, par l'accélération de sa chûte, une vîtesse égale à celle avec laquelle il a commencé à monter.

273. Si la direction de la force projectile eſt horizontale, le mobile ſe comporte ſuivant la regle établie ci-deſſus (168), & décrit une courbe M*abcdef* (*fig.* 16.) qui ſeroit parabolique, ſi la force projectile étoit parfaitement uniforme, & que la force de la peſanteur fût exactement accélérée. *Fig.* 16.

274. Si la direction de la force projectile tend de haut en bas, mais obliquement à l'horizon, le mobile ſe comporte encore ſuivant la regle établie (168); & il décrit une courbe de la nature de la précédente, qui n'eſt qu'une demi-parabole.

275. Enfin, ſi la direction de la force projectile tend de bas en haut & obliquement à l'horizon (& c'eſt le cas le plus ordinaire), le mobile décrit alors une parabole entière. Car ſuppoſons que le mobile M (*fig.* 32.) ſoit lancé directement au point P par une force projectile; ſi l'on retranche de l'élévation de cette tendance, pendant une ſuite d'inſtans égaux, autant de parties qui expriment les effets de la peſanteur, en augmentant entre elles comme le quarré des temps (216); c'eſt-à-dire que la ligne qui exprime l'effet de la peſanteur au ſecond temps ſoit 4 fois auſſi longue que celle qui l'exprime au premier temps; que celle qui l'exprime au troiſieme temps ſoit 9 fois auſſi longue, &c. les *Fig.* 32.

extrémités b, r, f, q, de toutes ces lignes ab; dr, ef, Pq, qui expriment les retranchemens causés à l'effet de la force projectile par la pesanteur, donneront la courbe $Mbrfq$, c'est-à-dire, deux demi-paraboles semblables qui se joignent au sommet r.

276. C'est là-dessus qu'est fondée toute la science de la Balistique ou de l'Art de mesurer le jet d'une bombe ou d'un boulet. Cet Art consiste donc dans la combinaison de la force projectile & de la pesanteur du mobile. Toutes ces courbes, que décrivent les mobiles en pareils cas, ont d'autant plus d'amplitude, que la force projectile est plus grande : &, toutes choses égales d'ailleurs, la plus grande amplitude Mq a lieu, lorsque l'angle d'élévation PMq est de 45 degrés : & les amplitudes répondantes aux angles d'élévation également distans de 45 degrés, sont égales ; car l'amplitude est toujours comme le sinus du double de l'angle d'élévation. Voilà pourquoi l'amplitude qui répond à l'angle de 45 degrés, est la plus grande de toutes ; car le sinus du double de 45 degrés est le sinus de 90 degrés ou le sinus total, qui est le plus grand de tous.

C'est précisément cette amplitude qu'il importe de connoître, pour pouvoir sûrement atteindre le but qu'on se propose ; & c'est-là le point de

la difficulté, sur-tout s'il s'agit du jet d'une bombe ou d'un boulet. Car, pour connoître l'amplitude de la parabole que décrit le mobile, il faut connoître la valeur de la force projectile : mais cette force projectile vient alors de l'explosion de la poudre ; & c'est une chose très-difficile que d'estimer avec quelque justesse la valeur de cette impulsion. Elle dépend principalement de la qualité de la poudre, & de la quantité, non pas que l'on y emploie, mais qui s'enflamme avant le départ de la bombe ou du boulet. Car l'expérience a fait voir qu'il y a toujours une partie de la poudre qui ne s'enflamme point ; & cette partie n'est pas toujours proportionnelle à la quantité employée : cela dépend de plusieurs circonstances, qu'il est difficile de rendre toujours les mêmes, comme de la longueur du canon ou du mortier, du poids de la bombe ou du boulet, de la force avec laquelle la charge a été bourrée, &c. Ainsi une des quantités les plus essentielles à connoître, pour juger de l'amplitude de la parabole, est sujette à beaucoup de variations. De plus, dans tout ce que nous venons de dire, nous avons fait abstraction de la résistance des milieux & de celle des frottemens (270) : il faut cependant les compter pour quelque chose ; elles influent sur le mouvement du mobile : le boulet frotte contre les parois intérieures du canon, & en-

suite est obligé de fendre l'air & de le déplacer ; ce qui lui fait perdre une partie de sa vîtesse. La force projectile n'est donc plus uniforme ; & l'effort de la pesanteur donne une vîtesse moins accélérée qu'il n'auroit fait sans ces obstacles. C'est pourquoi, s'il est essentiel de s'instruire des principes, il n'est pas moins nécessaire de s'exercer à la pratique.

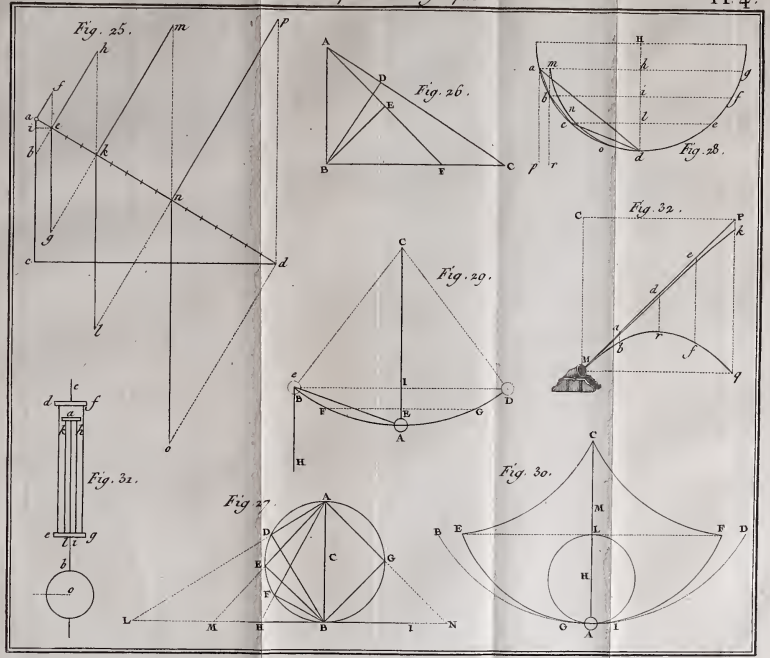


Fig. 25.
Fig. 26.
Fig. 28.
Fig. 32.
Fig. 29.
Fig. 31.
Fig. 27.
Fig. 30.

CHAPITRE VIII.

De l'Hydrodynamique.

277. L'HYDRODYNAMIQUE est une science qui a pour objet la pesanteur & l'équilibre des fluides, & le mouvement des fluides. On voit, par cette définition, que l'hydrodynamique comprend l'hydrostatique & l'hydraulique.

L'hydrostatique considere l'équilibre des fluides en repos: en détruisant cet équilibre, il en résulte un mouvement; & c'est là où commence l'hydraulique.

De l'Hydrostatique, ou de la Pesanteur & de l'Equilibre des Fluides.

278. On appelle *Hydrostatique*, la science qui a pour objet la pesanteur & l'équilibre des fluides, ainsi que la maniere dont se mettent en équilibre dans ces fluides les corps qui y sont plongés. *Archimedes* est, parmi les Anciens, celui qui a fait le plus de progrès dans cette science. On lui fait encore honneur aujourd'hui de la maniere ingénieuse par laquelle il reconnut qu'une couronne d'or n'étoit pas au titre auquel elle devoit être, en la pesant hydrostatiquement. Parmi les

Modernes, c'eſt à *Galilée*, *Toricelli*, *Deſcartes*, *Paſcal*, *Guglielmini*, & *Mariotte* que nous ſommes redevables des plus belles connoiſſances dans cette matiere ; & leurs expériences, auſſi convaincantes que curieuſes, nous ont mis en état de ſavoir ce que nous devons attendre ou craindre de la force des eaux qui agiſſent par leur poids ; & comment nous pouvons l'employer utilement pour nous, par le moyen des machines hydrauliques.

279. Nous avons dit ci-devant (226) que la force qui fait tomber les corps vers la terre, eſt la ſeule cauſe de leur poids ; & que c'eſt par les efforts que ces corps font ſans ceſſe pour obéir à cette force, qu'ils peſent ſur les obſtacles qui les retiennent. Les fluides qui, comme les corps ſolides, ſont commandés par la peſanteur, font préciſément la même choſe : ils peſent ſur tous les obſtacles qui s'oppoſent à leur chûte. Mais, à cauſe de leur fluidité, ils peſent différemment des corps ſolides ; & il en réſulte des phénomenes tout-à-fait particuliers, & qu'il nous eſt important de connoître.

280. Les fluides ſont des ſubſtances dont les parties ſont mobiles entre elles, n'ont point ou preſque point de cohéſion les unes aux autres, & ſe meuvent indépendamment les unes des autres. Dans cette définition ſont compris les fluides groſſiers, tels, par exemple, qu'un tas de blé, un

tas de sablon, &c. & les fluides déliés, tels que l'air & les autres fluides aériformes. On peut aussi y comprendre les liqueurs; car toutes les liqueurs sont des fluides; mais tous les fluides ne sont pas nécessairement liqueurs. Pour qu'un fluide soit liqueur, il faut que ses molécules soient extrêmement petites, & puissent se mouvoir indépendamment les unes des autres avec assez de liberté, pour que celles de la surface supérieure se placent toutes dans un plan parallele à l'horizon; tel est du vin, de l'eau, &c. Il n'en est pas ainsi des fluides grossiers : l'ensemble forme un cône plus ou moins écrasé, suivant qu'il s'éloigne plus ou moins de la parfaite fluidité. Mais les fluides déliés, dont la fluidité égale celle des liqueurs, se comportent comme elles dans leur pesanteur & leur équilibre : ils suivent les mêmes loix. Il ne sera donc ici question que de ces fluides déliés & des liqueurs.

281. Tout ce qui est liquide ne l'est pas également; c'est pourquoi ce qu'exigent les loix de l'hydrostatique, que nous allons établir, s'exécute d'autant moins exactement, que ces substances s'éloignent davantage de la parfaite liquidité. L'eau & l'huile se répandent, si les vases qui les contiennent se renversent ou se cassent; mais l'effusion de l'huile est plus lente que celle de l'eau, parce que les particules de l'huile ont entre elles

plus de cohésion, que n'en ont celles de l'eau. C'est principalement de l'extrême petitesse des molécules des liqueurs & des fluides déliés, & de leur très-grande mobilité, que dépendent les effets les plus singuliers de l'hydrostatique.

282. Pour faciliter l'intelligence de cette matiere, nous la diviserons en trois parties. Dans la premiere, nous examinerons de quelle maniere s'exerce la pesanteur d'un fluide seul, & dont toutes les parties sont homogenes, ou peuvent être considérées comme telles. Dans la seconde, nous verrons comment pesent & se mettent en équilibre ensemble plusieurs fluides dont les densités sont différentes. Dans la troisieme, nous examinerons comment les corps solides se mettent en équilibre avec les fluides dans lesquels on les plonge.

Pesanteur & Equilibre d'un fluide seul & homogene.

283. Nous avons à examiner ici la maniere dont une liqueur, ou en général un fluide, pris séparément & sans comparaison avec d'autres, exerce sa pesanteur sur les obstacles qui le retiennent, & comment il se met en équilibre avec lui-même.

284. *Les parties d'une même liqueur exercent leur pesanteur indépendamment les unes des autres.* Cette propriété vient de ce qu'elles n'ont

preſque point de cohéſion entre elles. Ce qui eſt très-différent de la maniere de peſer des corps ſolides ; leurs parties étant adhérentes entre elles, elles peſent toutes en commun. Auſſi le choc d'un corps ſolide eſt-il très-différent de celui d'une liqueur. On craint la chûte d'un glaçon d'une livre, qui tomberoit ſur la tête ; & l'on n'a pas peur d'être bleſſé par une livre d'eau. Cette derniere ſubſtance, en avançant, ſe diviſe par la réſiſtance de l'air, qui retarde les parties plus les unes que les autres ; & la vîteſſe de la maſſe totale eſt encore plus retardée, à cauſe de cette diviſion, qu'elle ne l'eût été ſans cela. Ainſi diviſée, elle s'applique à une plus grande ſurface ; ce qui partage ſon effort : au lieu qu'un ſolide ne frappe qu'un petit eſpace, qui reçoit l'effort entier. C'eſt pourquoi un corps anguleux qui tombe ſur la tête, fait plus de mal qu'un corps plat de même poids, & qui tombe de même hauteur.

285. Il ſuit de ce principe, que, ſi à un vaſe plein d'une liqueur on fait un trou dans le bas ; pour empêcher l'écoulement de cette liqueur, on n'a à vaincre que le poids de la colonne de liqueur qui répond au trou ; & que ce poids à vaincre eſt le même, ſoit qu'il n'y ait réellement que cette colonne de liqueur, ſoit que le vaſe en ſoit plein.

Expérience. Soit le vaſe cylindrique de verre

Fig. 33. AB (*fig.* 33), percé à son fond d'un trou C, garni d'une virole cylindrique de cuivre D d'un pouce de diametre, que l'on bouche avec un piston G bien ajusté à la virole & bien graissé, afin qu'il puisse céder à une médiocre pression. Ce piston est porté par une petite tige GH, attachée en H à une soie qui enveloppe la portion de poulie M, dont est garnie l'extrémité du levier MN qui a son centre de mouvement en L. L'autre portion de poulie N qui termine l'autre extrémité du levier, est aussi enveloppée d'une soie qui porte un petit bassin I. Sur la virolle D s'ajuste un tube cylindrique de verre FE, dont le diametre intérieur est égal à celui de la virolle, & dont la hauteur, lorsqu'il est en place, égale celle du vase AB. Le tout ainsi disposé, on remplit d'eau le tuyau EF; & l'on met dans le bassin I des poids tels qu'ils puissent être enlevés par le poids de la colonne d'eau, lorsque le tube est plein; & en même temps tels qu'ils empêchent le piston & la colonne d'eau de descendre, s'il s'en faut seulement d'un demi-pouce que le tuyau EF ne soit plein. Ensuite on ôte le tuyau EF; on met le piston G dans la virole D; & l'on verse de l'eau dans le vase. On observe que les poids & le bassin I ne sont enlevés que lorsque le vase AB est entiérement plein. Donc on n'a que le même poids à vaincre, soit qu'il n'y ait sur le piston G qu'une

colonne d'eau groſſe comme lui, ſoit que le vaſe AB en ſoit plein. Donc, dans ce dernier cas, cette colonne exerce ſa peſanteur indépendamment du reſte.

286. Pour rendre raiſon de ceci, figurons-nous toute la maſſe d'eau, contenue dans un vaſe, diviſée en pluſieurs colonnes, 1, 2, 3, 4, 5, (*fig.* 34) dont chacune eſt compoſée d'un égal nombre de parties. Si le fond du vaſe, qui ſert de baſe & d'appui à toutes ces colonnes, vient à s'ouvrir en *a*, la colonne 3, n'étant plus ſoutenue, tombera par l'ouverture, en gliſſant entre les deux colonnes 2 & 4, qui ſont ſoutenues par les parties *b* & *c* du fond du vaſe, & dont toutes les parties mobiles deviennent autant de petits rouleaux, qui, n'occaſionnant qu'un frottement de la ſeconde eſpece (97), ne retardent pas beaucoup ſa chûte. Cet effet réſulte de leur peu de cohéſion entre elles (280). Si les colonnes 1 & 2 d'une part, & 4 & 5 d'autre part, étoient compoſées de parties adhérentes entre elles, elles demeureroient de toute leur longueur, tel que le feroient, par exemple, des bougies; & par la chûte de la colonne 3, il ſe feroit un vide entre elles. Mais comme toutes ces particules ſont extrêmement petites & très-mobiles les unes ſur les autres, dès que le haut de la colonne 3 vient à deſcendre, elles s'écroulent, n'étant plus ſoutenues de ce côté-là : & de

Fig. 34.

cette maniere, la superficie de la masse totale baisse toute ensemble, quoiqu'il n'y ait qu'une des colonnes qui fournisse à l'écoulement par sa chûte. Lorsque les parties ont de la viscosité, comme celles des liqueurs grasses, ou que la masse du fluide qui s'écoule, a beaucoup de largeur par rapport à sa hauteur, on apperçoit très-bien le vide que laisse au dessus d'elle la colonne qui descend; car alors la surface, au lieu d'être plane, est creuse dans le milieu, & prend la figure d'un entonnoir (360), parce que les parties voisines n'arrivent pas avec assez de vîtesse pour remplacer celles qu'une pesanteur directe fait descendre: de plus, la pression de l'air au dessus du trou est plus forte que sa résistance au dessous.

287. Il est aisé d'appercevoir, d'après ce que nous venons de dire (285), combien la liquidité apporte de changemens aux effets de la pesanteur. Si, le vase AB (*fig.* 33.) étant plein d'eau, & en ayant ôté le tube EF, on veut soulever le piston G, on n'a à soutenir que le poids de la colonne d'eau qui repose dessus, parce que cette colonne peut se mouvoir indépendamment du reste: mais si toute la masse d'eau se convertissoit en glace, par la seule raison qu'elle ne seroit plus liquide, & que toutes ses parties seroient adhérentes entre elles, pour soulever le piston, on auroit à soutenir le poids de la masse totale.

Fig. 33.

288. *Les liqueurs exercent leur pression en toutes sortes de sens.* C'est-à-dire que non seulement elles pesent, comme le font les autres corps, de haut en bas; mais encore elles pesent, avec toute la valeur de leur poids, les obstacles qu'elles rencontrent latéralement & de bas en haut. Voilà pourquoi un tonneau plein d'huile liquide se vide, quand on le perce sur le côté. Si l'huile étoit figée, il ne se videroit pas : dans ce dernier cas, l'huile seroit un corps solide : or les corps solides ne pesent que de haut en bas, & point latéralement.

289. Pour concevoir cette pression latérale, ainsi que celle que les liqueurs exercent de bas en haut, il faut faire attention que leurs molécules sont comme un amas de petits globules qui seroient contenus dans un vase : on conçoit aisément que ces petits globules n'y sont pas tous arrangés régulièrement & à la file les uns des autres, comme nous les avons supposés ci-dessus (*fig.* 34.); mais que le plus souvent une colonne exerce sa pression entre deux autres, & tend à les écarter, comme on peut le voir en la (*fig.* 35.), où la pression perpendiculaire qui se fait vis-à-vis du point *d*, est transportée par les colonnes latérales vers les côtés *e*, *f* du vase; de sorte que si le vase étoit ouvert en ces endroits, la liqueur s'écouleroit par la grande mobilité de ses parties.

Fig. 34.

Fig. 35.

Je ferai le même raisonnement pour rendre raison de la pression de bas en haut : quand la colonne df tend à écarter les deux molécules g, h, la molécule g ne peut aller plus loin, parce qu'elle est appuyée contre les parois du vase ; mais la molécule h peut être soulevée de bas en haut, à moins qu'une colonne égale à la colonne ik, ou quelque chose d'équivalent ne pese sur elle pour la contenir.

290. C'est d'après ce principe que l'eau, élevée par la pompe de la Samaritaine ou par la pompe de Notre-Dame, après être descendue du bassin dans un tuyau vertical, & ensuite après avoir glissé horizontalement dans un autre tuyau sous le pavé, remonte par un troisieme tuyau jusqu'à la fontaine. C'est encore d'après ce principe qu'on peut remplir un vase indifféremment ou par l'embouchure ou par le fond, en pratiquant à ce dernier des trous garnis de clapets, comme on le fait aux grands seaux dont on se sert pour tirer l'eau du puits de Bicêtre : sans cela on seroit obligé d'incliner ces seaux pour les remplir ; ce qui seroit incommode à cause de leur longueur.

291. Il suit encore de là, que quand on construit des digues, des réservoirs ou autres ouvrages hydrauliques pour contenir des eaux, il faut les proportionner à la pression latérale qu'ils doivent éprouver ; laquelle pression est d'autant plus grande,

que

que la hauteur de l'eau est plus considérable. Voilà pourquoi il faut que ces sortes d'ouvrages soient plus épais & plus forts dans le bas que dans le haut. Il faut prendre à peu près les mêmes précautions pour les fluides grossiers (280), qui pourroient s'écrouler, soit par la petitesse de leurs parties, soit par leur peu de liaison. Les murs destinés à retenir les terrasses, doivent donc être assez forts pour résister à la poussée latérale des terres; laquelle poussée sera d'autant plus grande, que les terres seront moins liées, & les terrasses plus élevées.

292. *Toutes les parties d'une même liqueur sont en équilibre entre elles, soit dans un seul vaisseau, soit dans plusieurs qui communiquent ensemble, lorsque leurs surfaces supérieures sont dans un même plan parallele à l'horizon.* Ceci est une suite de ce que nous avons dit ci-dessus (289) : car, puisque la molécule *h* (*fig.* 35.) doit être soulevée de bas en haut, à moins qu'une colonne égale à la colonne *ik* ne pese sur elle pour la contenir; donc, pour qu'il y ait équilibre, il faut que les extrémités supérieures de ces deux colonnes soient dans un même plan horizontal, ou dans des points également distans du centre de la terre; lesquels points ne peuvent donc pas se trouver dans une ligne droite : à 1000 toises de distance, il y a environ 1 pied de différence. *Fig.* 35.

Cette propriété des liqueurs fait que l'eau que l'on amene chez soi, par des canaux souterreins, remonte aussi haut que le lieu d'où elle vient, quelle que soit la profondeur à laquelle on la fait passer. Dans l'usage ordinaire, on donne une demi-ligne d'inclinaison par toise, pour vaincre la résistance des frottemens (105); cependant, d'après ce que nous venons de dire, cela n'est point absolument nécessaire : quelque long que fût le chemin, l'eau arriveroit aussi haut que le lieu d'où elle vient; il lui faudroit seulement un peu plus de temps. Cela peut rendre encore raison des sources qu'on trouve quelquefois au sommet des montagnes. Ces eaux doivent venir de montagnes plus élevées (soit voisines, soit éloignées) par des canaux souterreins, qui ont à peu près la forme de siphons renversés. Il suit de cet équilibre, que, si l'on a plusieurs réservoirs qui communiquent ensemble, il suffit d'en voir un seul, pour juger de la hauteur de l'eau dans les autres: elle sera sûrement à la même hauteur dans tous.

293. Nous venons de dire (292) que pour que les parties d'une même liqueur soient en équilibre, il faut que leurs surfaces supérieures soient dans un même plan parallele à l'horizon. D'où il suit que, lorsque la surface des eaux a beaucoup d'étendue, elle est sûrement & sensiblement convexe. On s'en apperçoit aisément sur la mer : on y

voit les mâts d'un vaisseau éloigné, avant qu'on puisse appercevoir le corps du bâtiment; de même que sur terre & en plaine on apperçoit le haut des clochers d'une ville, avant d'en voir les maisons. La raison de cela est que nous ne pouvons voir qu'en ligne droite; & que la convexité de la terre ou de la mer interrompt le rayon visuel qui vient des parties basses, à une distance où celui qui vient des parties élevées est libre d'arriver à l'œil du spectateur.

294. *Les liqueurs exercent leur pression, tant perpendiculaire que latérale, non en raison de leur quantité, mais en raison de leur hauteur au dessus du plan horizontal, & de la largeur de la base qui s'oppose à leur chûte.* C'est-à-dire que si vous rempliſſez d'eau plusieurs vases qui soient tous de la même hauteur, & dont les fonds soient égaux, tous ces fonds seront également chargés, quelles que soient la forme & la capacité de ces vases. Supposons qu'on rempliſſe d'eau les trois vases ABCD (*fig.* 36.), EFGH (*fig.* 37.), LMNOPQ (*fig.* 38.), dont les hauteurs, AB, IF, LT soient les mêmes, & qui aient tous des fonds égaux, BC, FG, NO. Il est prouvé par l'expérience, que tous ces fonds sont également chargés, quoique les quantités d'eau qui rempliſſent les vases, soient très-différentes. Dans le vase, (*fig.* 36.), le fond BC est

Fig. 36, 37. *Fig.* 38.

Fig. 36.

chargé de toute la masse d'eau ABCD : ici la liqueur pese à la maniere d'un solide : supposons que son poids soit de six livres. Dans le vase *Fig.* 37. (*fig.* 37.), il est aisé de concevoir, d'après ce que nous avons dit ci-dessus (285), que le fond FG n'est chargé que de six livres, quoique la capacité de ce vase soit beaucoup plus grande que celle du premier : car ce fond FG ne porte que la colonne IFGK, égale à celle du vase *Fig.* 36. (*fig.* 36.), laquelle colonne exerce sa pesanteur indépendamment du reste (284), qui est porté sur *Fig.* 37. les parois EF, HG du vase (*fig.* 37.). La difficulté consiste donc à entendre comment, dans le *Fig.* 38. vase (*fig.* 38.), le fond NO est encore chargé de six livres, quoiqu'une livre d'eau suffise peut-être pour remplir ce vase. Voici comment on peut le faire comprendre. Il est certain que sur la portion TV du fond NO, il y a une pression égale à celle d'une colonne d'eau, dont la base est l'étendue TV & la hauteur LT. Si sur toutes les autres pareilles portions du même fond, il y a une pression égale à celle de cette colonne LTVQ, ce fond est par-tout également chargé. Or, par exemple, sur la portion VX il y a une pression égale à celle d'une colonne d'eau QVXR, laquelle seroit elle-même égale à la colonne LTVQ : car la petite colonne d'eau PVXS, qui repose dessus, tend à s'élever par la pression de

la colonne voisine LTVQ (289), & avec une force égale à l'excès LMPQ de cette grande colonne sur la petite : elle presse donc la partie PS du fond supérieur avec cette force-là. Mais *la réaction est égale à la compression* (112). La partie PS réagit donc avec une force égale à l'excès LMPQ de la grande colonne sur la petite. Donc il y a sur la portion VX du fond NO, une pression composée de celle de la petite colonne d'eau PVXS & de la réaction de la partie PS, égale à la pression d'une colonne d'eau QPSR, lesquelles deux, prises ensemble, égalent la pression de la colonne LTVQ. Ce que je dis de la portion VX, on peut le dire de tout le reste. Donc le fond du vase (*fig.* 38.), est par-tout également chargé ; donc, &c. *Fig.* 38.

295. Il suit de là une proposition qui paroît d'abord être un paradoxe, mais qui n'en est pas moins certaine, & qui influe considérablement sur presque toutes les machines hydrauliques ; savoir, que la même quantité d'eau peut faire un effort deux ou trois cents fois plus ou moins grand, suivant la maniere dont elle est employée. Par exemple, si l'on employoit la quantité d'eau que peut contenir le vase (*fig.* 37.), dans un vase pareil à celui de la *fig.* 38, mais assez haut pour la contenir toute, la pression sur le fond NO seroit considérablement plus grande que sur le fond FG. *Fig.* 37. *Fig.* 38.

296. Il suit encore de ce que nous venons de dire (294), qu'on peut faire crever un tonneau TO, (*fig.* 39.), déjà plein en le chargeant de quelques livres d'eau, employées dans un tuyau AB, long de 25 à 30 pieds. Par ce que nous venons de dire du vase (*fig.* 38.), il est clair que cette petite quantité d'eau qui remplit le tuyau AB, charge le fond du tonneau autant que si on lui ajoutoit une colonne d'eau grosse comme le tonneau lui-même, & longue comme le tuyau : ce qui feroit un poids énorme.

Fig. 39.

Fig. 38.

Pesanteur & Equilibre de plusieurs Fluides dont les densités sont différentes.

297. Nous avons dit ci-dessus (280), que les fluides sont des amas de petits corps très-mobiles entre eux, indépendans les uns des autres, pesant séparément & à proportion de leurs petites masses. Il faut ajouter que chacun de ces petits corps est lui-même un assemblage de petites particules beaucoup plus déliées, & fortement adhérentes entre elles. Les figures & les grandeurs de ces petites particules, ainsi que les figures des petits corps qu'elles composent, occasionnant plus ou moins de vides dans l'assemblage, & par conséquent plus ou moins de porosité (15); il en résulte des fluides ou liqueurs de différentes densités.

298. *La différence du poids ou de la densité*

suffit pour séparer les parties de plusieurs fluides ou liqueurs qu'on a mêlés ensemble, si d'autres causes plus fortes n'empêchent cet effet. Nous avons dit ci-dessus (284), que les parties des fluides exercent leur pesanteur indépendamment les unes des autres. Celles qui ont le plus de densité, ayant plus de force pour occuper le lieu le plus bas, obligent donc les autres à leur céder leur place; & ainsi se fait la séparation : comme lorsqu'on a bien mêlé ensemble de l'eau & de l'huile; si on laisse reposer le tout, l'eau, ayant plus de densité que l'huile, s'empare de la partie inférieure; & l'huile passe à la partie supérieure. Si cet effet n'a pas lieu; c'est qu'il y a des causes qui s'y opposent. Ces causes sont, 1°. les frottemens qui croissent à mesure que la division est portée plus loin, parce qu'alors les surfaces augmentent; comme lorsqu'on mêle ensemble de l'eau & du vin : l'eau, quoique plus dense que le vin, ne s'en sépare point. 2°. La viscosité des matieres; comme lorsqu'on bat des blancs d'œufs, & que, par-là, on y mêle beaucoup d'air : l'air, quoique beaucoup plus léger, n'a pas la force de rompre ses enveloppes pour s'échapper. 3°. L'analogie entre deux liqueurs, qui fait qu'elles se divisent davantage, & éprouvent, par-là, des frottemens qui font plus que compenser la différence de leurs densités; car l'esprit-de-vin bien mêlé à l'eau ne

s'en sépare pas; & l'huile s'en sépare. C'est pourquoi le repos seul suffit pour séparer la crême, qui est une matiere grasse, du lait, qui est une substance aqueuse.

299. *Deux fluides de densités différentes sont en équilibre entre eux, lorsqu'ayant la même base, leurs hauteurs perpendiculaires à l'horizon sont en raisons réciproques de leurs densités ou pesanteurs spécifiques.* Alors les pressions sont égales, d'où naît l'équilibre. Si l'on met, par exemple, du mercure dans un siphon renversé, & que l'on verse de l'eau dans une des branches; pour faire élever le mercure dans l'autre branche d'un pouce au dessus de son niveau, il faut que l'eau soit à environ $13\frac{1}{2}$ pouces de hauteur. La hauteur de l'eau sera donc $13\frac{1}{2}$ fois aussi grande que celle du mercure; de même que la densité du mercure est $13\frac{1}{2}$ fois aussi grande que celle de l'eau.

300. Les fluides élastiques ou aériformes ont, comme fluides, toutes les propriétés de ces sortes de substances; & on peut leur appliquer tout ce que nous avons dit jusqu'ici sur l'équilibre des fluides. Mais ils ont de plus d'autres propriétés particulieres, dépendantes de leur vertu élastique, ou de cette faculté par laquelle ils diminuent ou augmentent de volume, selon qu'ils sont plus ou moins comprimés. L'air, dont nous donnerons

ci-après (643) l'analyse, est, de tous les fluides élastiques, le plus connu, le plus répandu, & l'agent le plus universel de la Nature. C'est de sa pression & de son équilibre dont nous allons nous occuper; & il sera aisé d'appliquer la même théorie aux autres especes de fluides élastiques.

301. *L'air est un fluide pesant, & qui exerce sa pression dans tous les sens, à la maniere des autres fluides ou liqueurs.* Quoique la pesanteur ne soit pas un attribut essentiel à la matiere, & que nous puissions la concevoir sans cette tendance vers le centre de la terre, cependant nous ne connoissons aucune substance sublunaire qui ne soit pesante; & nous n'avons point de raison d'excepter l'air de la loi commune à tous les corps sublunaires. Cependant les anciens Philosophes ne connoissoient point la pesanteur de l'air. Ils admettoient dans la Nature deux sortes de corps; les corps pesans, tels qu'une pierre, un métal, & en général tous les corps qui, étant abandonnés à eux-mêmes, se portent au lieu le plus bas; & les corps légers, tels que l'air, la flamme, les vapeurs, &c. parce que ces corps semblent s'élever dans les régions supérieures. Ils pensoient donc que l'air étoit doué d'une légéreté absolue; & tous les effets qui ont sa pesanteur pour cause, étoient attribués à l'*horreur* que la Nature avoit, selon eux, pour le *vide*. Cette légéreté de l'air a eu un regne très-

long ; il n'y a pas encore cent cinquante ans qu'on eſt convaincu de ſa peſanteur. Les Fontainiers de *Côme de Médicis*, Grand-Duc de Florence, déſirant faire monter l'eau à 50 ou 60 pieds par le moyen d'une pompe aſpirante, s'apperçurent que l'eau ne montoit qu'à une certaine hauteur, paſſé laquelle, la Nature, par le vide qui s'y trouvoit, étoit réconciliée avec lui, ou du moins ſouffroit, ſans ſe plaindre, cette défectuoſité. Ce caprice, de la part de la Nature, fut communiqué par les Fontainiers à *Galilée*, qui y fit attention, quoique juſqu'alors il ſe fût payé, comme les autres, de l'*horreur du vide*, n'en ayant point apperçu les bornes. Il s'aſſura donc, par des épreuves réitérées, que l'eau ne montoit qu'à environ 32 pieds dans les pompes aſpirantes, & que le reſte du tuyau, s'il étoit plus long, demeuroit vide. Il ne lui en fallut pas davantage pour ſe révolter contre l'*horreur du vide*, &, bien loin de penſer qu'elle avoit ſes limites, au delà deſquelles elle ſe tournoit en indifférence, il commença à croire que ces ſortes de phénomenes avoient une cauſe phyſique bien différente de ce qu'on avoit imaginé juſqu'alors pour les expliquer. Ce qu'il avoit ſoupçonné, *Toricelli*, ſon diſciple, le mit en évidence. Il fit voir le premier, en 1645, qu'une colonne d'air priſe dans l'atmoſphere, ſe met en équilibre avec une colonne d'un

autre fluide, qui a la même baſe; & afin de n'avoir pas beſoin d'un long tuyau, au lieu d'eau, il ſe ſervit de mercure. Il prit donc un tube de verre d'environ 3 pieds de long, de 2 à 3 lignes de diametre, hermétiquement fermé par un bout, & ouvert par l'autre : il le remplit de mercure bien net; & ayant bouché l'orifice avec le doigt il renverſa le tube, & plaça ce bout ouvert dans un vaſe plein du même mercure. Il n'eut pas plus tôt retiré ſon doigt, que la colonne de mercure, qui avoit environ 36 pouces de long, ſe réduiſit à la longueur d'environ 28 pouces. Si l'on compare maintenant l'expérience de *Galilée* à celle de *Toricelli*, on verra que les colonnes des fluides élevés ainſi au deſſus de leur niveau, diminuent de longueur comme leurs denſités augmentent : on verra que la cauſe qui éleve l'eau à 32 pieds, ne peut ſoutenir le mercure qu'à 28 pouces. Quand on ſait d'ailleurs que ces deux colonnes, ſi différentes en longueurs, ont des poids parfaitement égaux, n'eſt-on pas forcé de reconnoître que cet effet eſt celui d'un équilibre? & quelle eſt la puiſſance qui peut faire équilibre à ces colonnes ſuſpendues, ſi ce n'eſt l'air qui preſſe par ſon poids ſur les réſervoirs? C'eſt auſſi le jugement qu'en porta *Toricelli*, & qu'en porterent, après lui, preſque tous les Phyſiciens.

302. *Paſchal* ajouta encore aux preuves de

Toricelli. Voici le raisonnement qu'il fit : » Si l'air » est la cause de ce phénomene, c'est parce qu'il » est pesant & fluide : sa pression doit donc se faire » comme celle des liqueurs ; elle doit diminuer ou » augmenter selon sa hauteur ; & les colonnes de » liqueurs avec lesquelles on le mettra en équi- » libre, seront toujours plus ou moins longues, » selon qu'elles seront moins ou plus denses «. Il suit de là que les colonnes d'air doivent faire une pression d'autant plus grande, & soutenir les liqueurs d'autant plus haut, qu'elles ont plus de longueur : or elles en ont plus au bas d'une montagne, & elles en ont moins à son sommet. *Paschal* engagea donc M. *Perrier*, son beau-frere, qui étoit alors à Clermont en Auvergne, à profiter de l'élévation de la montagne connue sous le nom du *Puy de Dôme*, pour faire l'expérience suivante.

303. EXPÉRIENCE. M. *Perrier* plaça le tube de *Toricelli* sur une planche graduée en pouces & en lignes ; & ayant remarqué à quelle hauteur le mercure étoit soutenu dans ce tube au pied du Puy de Dôme, il observa qu'il baissoit de plus en plus à mesure qu'il s'avançoit vers le haut de la montagne ; & qu'au contraire il remontoit, & suivant les mêmes proportions, à mesure qu'il descendoit vers la ville. La différence se trouva être de 3 pouces 1 ligne. Cette expérience, ima-

ginée par *Paſchal*, & répétée pluſieurs fois, a toujours donné le même réſultat; d'où l'on a conclu que le mercure ſe ſoutenoit au deſſus de ſon niveau dans le tube de *Toricelli*, par la preſſion de l'air ſur le réſervoir; puiſqu'on voyoit baiſſer le mercure dans le tube, lorſque la colonne d'air, qui répondoit à ce réſervoir, devenoit moins longue. Ces expériences, en prouvant invinciblement la peſanteur de l'air, reſtituerent authentiquement à ce fluide un très-grand nombre d'effets naturels, qu'on avoit attribués juſqu'alors à une cauſe purement chimérique.

304. *Paſchal* répéta enſuite la même expérience avec de l'eau, du vin, de l'huile, &c. & les hauteurs des colonnes de ces liqueurs ſe trouverent toujours proportionnelles à leurs denſités; preuve évidente qu'elles ſe mettoient en équilibre avec un poids qui ne pouvoit être que celui de l'air.

305. Pluſieurs Phyſiciens s'étant procuré un tube de Toricelli, placé, à la maniere de M. Perrier (303), ſur une échelle graduée en pouces & en lignes, ne manquerent pas de le viſiter ſouvent; ce qui fit remarquer les variations qui arrivent à la hauteur du mercure dans le tube. On conclut de là que la preſſion de l'air, qui eſt la cauſe de la ſuſpenſion de la colonne de mercure, eſt tantôt plus & tantôt moins grande, & agit par conſé-

quent plus ou moins fortement sur nos corps : en conséquence on pensa dès-lors à faire du tube de *Toricelli* un nouvel instrument météorologique, qui est celui que nous appelons aujourd'hui *Barometre* (*fig.* 40.).

Fig. 40.

306. L'air agit de deux manieres sur cet instrument, par son poids, & par son ressort. La variation de sa pression sur le réservoir du barometre est donc produite par deux causes ; savoir, par la variation de son poids, & par celle de son ressort. Son poids varie par la variation de sa densité, & par le plus ou le moins de substances étrangeres qui se trouvent mêlées à ce fluide, ou qu'il tient en dissolution ; & son ressort varie par la variation de sa densité, & par le plus ou le moins de chaleur dont il est affecté. La plupart des substances étrangeres qui ne font que se mêler à l'air sous la forme de fluides élastiques, diminuent le poids de la colonne d'air, parce qu'elles sont plus légeres que lui ; mais celles de ces substances qui sont dissoutes dans l'air, ajoutent à sa densité, & par conséquent à son poids, de même que du sel dissous dans l'eau augmente son poids & sa densité. A l'égard du ressort de l'air, la chaleur qui l'augmente, diminue en même temps sa densité, en le raréfiant ; & il arrive quelquefois que l'un compense l'autre. Mais, comme l'augmentation du ressort de l'air par la chaleur est proportion-

nelle à la force qui le comprime dans le moment où il eſt échauffé (932), il ſe peut faire que cette compenſation n'ait pas lieu. Alors, de ces deux effets, on n'apperçoit que l'excès du plus fort ſur le plus foible.

307. Le barometre a encore une autre propriété qui ne le rend pas moins recommandable. Il annonce d'avance les changemens de temps, ſur-tout quand ils doivent être conſidérables. Il y a bien des circonſtances où ces ſortes de prédictions deviennent utiles, comme, par exemple, pour les travaux de la campagne, pour les voyageurs, &c. D'après toutes les obſervations qu'on a faites ſur le barometre, il paroît aſſez conſtant, 1°. que la hauteur moyenne du mercure eſt en France de 27$\frac{1}{2}$ pouces; 2°. que les variations de cette hauteur ne s'y étendent guere au delà de 3 pouces; c'eſt-à-dire que ſon plus grand abaiſſement eſt à 26 pouces, & ſa plus grande élévation à 29; 3°. que ces variations ſont moins grandes vers l'équateur, & qu'elles ſont plus grandes vers les climats ſeptentrionaux; 4°. que, lorſque le mercure baiſſe dans le barometre, à quelque hauteur qu'il ſoit alors, il annonce de la pluie ou du vent, ou en général ce qu'on appelle mauvais temps; 5°. qu'au contraire, lorſqu'il monte, ne fût-il qu'à 26 pouces lors de ſon aſcenſion, il annonce le beau temps; 6°. que ces prédictions

manquent quelquefois, sur-tout si les variations de hauteur du mercure se font lentement & d'une petite quantité ; 7°. qu'au contraire elles sont presque infaillibles, quand le mercure monte ou descend d'une quantité considérable en peu de temps, comme, par exemple, de 3 ou 4 lignes en quelques heures.

308. Il est bien clair qu'une plus grande élévation du mercure dans le barometre, dénote une plus grande pression de la part de l'air ; mais il reste à savoir quelle affinité il y a entre cette pression plus ou moins grande, & le changement de temps, qui n'arrive quelquefois que 10 ou 12 heures après. C'est ce que nous allons tâcher d'expliquer. La pression que l'air exerce sur le réservoir du barometre, vient de son poids & de son ressort : or ces deux choses peuvent varier, comme nous venons de le prouver (306), & en conséquence la pression qu'elles produisent. Toutes les fois que l'air dissoudra une grande quantité d'eau, sa pesanteur spécifique en sera augmentée (306) ; la colonne d'air qui repose sur le réservoir du barometre, en deviendra plus pesante, & le mercure remontera. Si la dissolution n'est pas parfaite, la transparence de l'air sera troublée ; cela produira des brouillards, qui ne manquent guere de faire monter le barometre. Mais si la dissolution devient parfaite, la transparence de l'air sera complette ;

complette; le beau temps renaîtra; ce qu'annoncera le mercure du barometre par ſon aſcenſion. Lorſque quelques cauſes détermineront cette eau diſſoute à ſe précipiter & à deſcendre dans la région baſſe de l'atmoſphere, avant qu'elle ſoit aſſez condenſée pour ſe ramaſſer en gouttes & former de la pluie, il y en aura déjà une partie qui ſera arrivée juſqu'à la ſurface de la terre. La preuve de cela, c'eſt que, lorſque le temps ſe prépare à la pluie, tous les corps qui ne ſont pas ſuſceptibles d'être pénétrés par l'eau, telles que les rampes de fer, les pierres dures, &c. ſe trouvent humides. La colonne d'air, qui preſſe ſur le réſervoir du barometre, deviendra donc moins peſante, par la perte de cette portion d'eau, arrivée déjà juſqu'à terre; & le barometre deſcendra, & annoncera la pluie qui ſurviendra peu de temps après, étant formée par le reſte de l'eau qui aura eu le temps de ſe ramaſſer en gouttes.

309. Il y a, je l'avoue, des obſervations qui ſemblent contredire l'explication que nous venons de donner. Il arrive quelquefois que le barometre remonte même pendant la pluie, pendant que l'air ſe décharge de l'eau qu'il tenoit en diſſolution: de même il arrive ſouvent, & je l'ai obſervé pluſieurs fois, ſur-tout en hiver, que, pendant des mois entiers, toutes les fois que le mercure monte dans le barometre, la pluie ſurvient; & toutes les

fois qu'il descend, le beau temps renaît. Je crois cependant que cela peut très-bien se concilier avec l'explication ci-dessus (308). Car, comme nous l'avons dit, c'est la grande quantité d'eau dissoute dans l'air, qui en augmente le poids. Si donc, pendant la pluie, il se fait dans l'air une nouvelle dissolution d'eau plus abondante que la quantité qui en tombe (& cela arrive parfois), le barometre remontera. Si cette eau ainsi dissoute demeure dans la région basse, cette ascension du barometre annoncera une nouvelle pluie : c'est ce qui arrive souvent en pareille circonstance. Enfin, si l'air dissout une grande quantité d'eau, & qu'en même temps le froid ou quelque autre cause empêche cette eau de se dissoudre parfaitement & de s'élever à une grande hauteur, elle n'en augmentera pas moins le poids de l'air, ce qui fera monter le barometre ; & cependant elle sera toute prête à se ramasser en gouttes & à former de la pluie, qui tombera peu de temps après. Pendant que cette pluie tombera, s'il n'y a point de nouvelle dissolution, l'air en deviendra plus léger ; le barometre descendra donc, & malgré cela annoncera le beau temps qui doit suivre. Voilà, je crois, comment on peut rendre raison de l'espece d'affinité qui paroît subsister entre le poids de l'air & le changement de temps, suivant les circonstances. Le beau temps pourra aussi avoir lieu, malgré la diminution

du poids de l'air, lorsqu'il se mêlera à ce fluide quelque autre fluide élastique plus léger que lui, & qui n'en troublera point la transparence. Enfin le ressort de l'air, dont la force peut varier par différentes causes, contribuera encore à faire varier sa pression : ce ressort agit quelquefois conjointement avec le poids, pour en augmenter l'effet ; d'autres fois il agit en sens contraire, & peut ainsi diminuer ou même compenser l'effet de l'augmentation de poids. De sorte que le beau ou le mauvais temps peut subsister, à quelque hauteur que soit le mercure dans le barometre ; & cela sans infirmer l'explication que nous avons donnée de ce phénomene.

310. Le tube de *Toricelli*, dont les Physiciens ont fait le barometre, est celui qu'on appelle *simple*. C'est sans doute, de tous ceux qu'on a imaginés jusqu'à présent, celui qui doit être préféré pour les observations qui demandent de l'exactitude, à cause des inconvéniens inévitables qui se trouvent dans les autres. Si l'on est curieux de connoître ces autres barometres, on les trouvera amplement & exactement décrits dans mon *Dictionnaire raisonné de Physique, tome I, page 222 & suivantes.*

311. Nous avons dit (301) que l'air exerce sa pression en toutes sortes de sens, de haut en bas, latéralement & de bas en haut. Sa pression de haut

en bas est bien prouvée par ce qui précede. Il est aisé de faire appercevoir sa pression latérale, ainsi que celle de bas en haut. Si l'on perce, sur le côté ou par le bas, un tonneau plein ou à peu près, d'un petit trou, comme feroit, par exemple, celui d'une vrille, la liqueur ne s'écoule pas; parce que l'air, qui se présente au trou, soutient cette liqueur, qui n'a pas assez de hauteur pour vaincre sa pression. Enfin tous les effets qui dépendent de la pression de l'air, ont lieu dans une chambre où la colonne d'air se termine au plafond, aussi bien que dehors, où cette colonne a toute la hauteur de l'atmosphere; & cela, parce que l'air de la chambre communique avec celui du dehors, ne fût-ce que par le trou de la serrure. Ainsi, dans un barometre placé dans un appartement, le mercure se tient aussi haut que si ce barometre étoit en plein champ.

312. *C'est de la pression de l'air d'où dépend le jeu des siphons.* Un siphon est un tuyau courbé ABC (*fig.* 41.) de verre, ou de métal, ou de bois, &c. & dont une branche AB est plus courte que l'autre BC. Pour faire usage de cet instrument, on place l'extrémité A (*fig.* 42.) de la courte branche AB dans le vase EE qui contient la liqueur : on ôte l'air du siphon en suçant par l'extrémité C de la longue branche BC. Alors l'écoulement commence, & ne finit que lorsque la

Fig. 41.

courte branche AB ne plonge plus du tout dans la liqueur. Il eſt aiſé de voir que c'eſt la preſſion de l'air, ſur la ſurface de la liqueur dans le vaſe, qui cauſe cet écoulement. Car ſuppoſons GF les confins de l'atmoſphere; tous les points de la ſurface A de la liqueur ſont également preſſés par la colonne d'air AF : ſi, à quelque endroit de cette ſurface, ou ſupprime cette preſſion, la liqueur doit s'écouler par là, puiſqu'elle y trouve moins de réſiſtance que par-tout ailleurs : c'eſt pourquoi le ſiphon ſe remplit en entier, lorſqu'on ſuce l'air par l'extrémité C.

313. Si les deux branches du ſiphon étoient d'égale longueur, comme BA, BD, l'écoulement n'auroit pas lieu; parce que la colonne d'air DG, qui réſiſteroit en D, étant auſſi haute que celle qui preſſe en A, lui feroit équilibre, de même que ſe le font les deux colonnes de liqueur BA, BD. Mais lorſque l'une BC, des deux jambes eſt plus longue que l'autre, quoique la colonne d'air GC, qui lui répond, ſoit plus longue que celle qui preſſe en A, elle n'eſt pas capable d'empêcher l'écoulement. En voici la raiſon. Conſidérons la colonne d'air GC comme diviſée en deux parties, dont une GD fait équilibre à la colonne d'air FA, & ſeroit capable d'arrêter l'écoulement, ſi la branche BC finiſſoit en D. La portion de liqueur qui remplit la partie DC du

ſiphon, ne trouve donc plus d'autre réſiſtance en C, qu'une colonne d'air DC de même longueur qu'elle, mais qui lui eſt très-inférieure en poids. Cette portion de liqueur s'écoule donc par l'excès de ſon poids. Mais tandis qu'elle coule, rien ne ſoutient celle qui eſt au deſſus, qui la ſuit néceſſairement, pendant que la preſſion de l'air en A fournit de nouvelle liqueur pour remplacer celle qui s'eſt écoulée. C'eſt ainſi que l'écoulement devient continu. C'eſt pourquoi la réſiſtance de l'air en C eſt d'autant plus vaincue, que la longueur de la branche BC du ſiphon excede davantage celle de la branche AB. On en aura la preuve, ſi l'on ajoute en C un bout de tuyau qui alonge cette branche; car alors, dans un temps donné, il s'écoulera plus de liqueur qu'il ne s'en écouleroit ſans cet alongement.

314. Puiſque c'eſt la preſſion de l'air qui éleve la liqueur dans la courte branche BA, il s'enſuit que la hauteur de cette branche eſt limitée à 32 pieds quand la liqueur eſt de l'eau; par la raiſon que l'air ne peut pas faire monter l'eau plus haut (301); & que lorſque la liqueur eſt du mercure, la hauteur de la courte branche ne doit pas excéder 28 pouces, puiſque l'air ne peut ſoutenir le mercure qu'à cette hauteur.

Pesanteur & Equilibre des Solides plongés dans les Fluides.

315. Il est certain qu'un solide qu'on plonge dans une liqueur, & qui est en même temps impénétrable à cette liqueur, occupe la place d'un volume de cette liqueur parfaitement égal au sien. Ce volume de liqueur déplacé, ou égale en densité ou en poids le solide qui prend sa place, ou bien l'un des deux pese plus que l'autre. Dans ce dernier cas, qui est le plus commun, on appelle *Pesanteur respective*, la quantité dont le plus pesant surpasse le plus léger.

316. *Un corps solide entiérement plongé dans un fluide, est comprimé de toutes parts par le fluide qui l'entoure; & la pression qu'il éprouve est d'autant plus grande, qu'il est plus profondément plongé, & que le fluide a plus de densité.* Nous avons prouvé ci-dessus (288) que les liqueurs ou fluides exercent leur pression en toutes sortes de sens: par conséquent un corps solide, plongé dans un fluide, est comprimé de toutes parts. Nous avons prouvé (294) que cette pression croît en raison de la hauteur du fluide: donc la pression qu'éprouve le corps plongé, est d'autant plus grande, qu'il est plus profondément plongé. Enfin nous avons prouvé (299) qu'il y a équilibre entre deux fluides dont les hauteurs sont en raisons

réciproques de leurs denſités : donc, à profondeurs égales, le corps plongé eſt d'autant plus comprimé, que le fluide a plus de denſité.

317. Nous qui ſommes plongés dans l'air, qui eſt un fluide qui agit ſuivant toutes les loix de l'hydroſtatique (301), nous ſommes donc comprimés de toutes parts par l'air qui nous environne : nous le ſommes plus dans un lieu bas que dans un lieu élevé ; & nous le ſommes d'autant plus, que l'air a plus de denſité. Il eſt vrai que nous nous appercevons peu de cette preſſion, quoiqu'elle ſoit très-grande, puiſque, pour une perſonne d'une moyenne taille, elle excede le poids de 30000 livres : cela vient, 1°. de ce que cette preſſion ſur nous eſt continuelle : or les ſenſations habituelles ne ſont pas, en quelque façon, des ſenſations pour nous ; nous ne nous appercevons bien que des choſes extraordinaires : 2°. de ce que nous reſpirons intérieurement le même fluide ; ce qui établit un équilibre entre la preſſion extérieure & la réaction intérieure. Nous nous appercevons encore moins des différences de cette preſſion, parce qu'elles ſont trop peu ſenſibles. Il n'en ſeroit pas ainſi, ſi, de même que les poiſſons, nous vivions dans un fluide beaucoup plus denſe, comme l'eau. Un poiſſon qui eſt à la ſurface de l'eau, n'eſt chargé que du poids de l'atmoſphere ; mais s'il

se plonge seulement à 32 pieds de profondeur, la pression qu'il éprouve dans ce second cas, est double de celle qu'il éprouvoit dans le premier. C'est une des principales raisons qui ont fait abandonner l'usage de la cloche du plongeur : à environ 60 pieds de profondeur, on éprouvoit une pression, soit extérieure, soit intérieure, déjà trop forte pour pouvoir la soutenir pendant quelque temps sans danger de rupture de vaisseaux & de crachement de sang.

318. *Un corps plongé dans un fluide, ajoute à ce fluide un poids égal à celui du volume de fluide qu'il déplace, quelle que soit la densité de ce corps.* Si, dans un vase à peu près plein d'eau, suspendu au bras d'une balance, & en équilibre avec un poids pendu à l'autre bras, on plonge, soit une boule de bois, soit une boule de plomb de même diametre, fixée à une tige qu'on a soin de ne pas lâcher ; dans l'un & l'autre cas on ajoute un poids égal ; car le même poids placé à l'autre bras, sera dans les deux cas nécessaire & suffisant pour rétablir l'équilibre. Donc, &c. La raison de cela est que le corps plongé fait élever la liqueur dans le vase, dans lequel on le plonge, autant que si on y ajoutoit un volume de liqueur égal au sien : or les liqueurs pesent en raison de leur hauteur perpendiculaire (294) : donc, quelle que soit la densité

du corps plongé, pourvu que le volume soit toujours le même, il ajoutera toujours le même poids : & nous verrons bientôt que ce poids est égal à celui du volume de liqueur déplacé.

319. *Si le corps plongé est plus pesant que le volume de liqueur qu'il déplace, sa pesanteur respective* (& non pas sa pesanteur absolue) *le fait tomber au fond du vase, s'il est libre de lui obéir.* La preuve de cela, c'est que, pour l'empêcher de tomber, il ne faut pas un poids égal au sien, mais seulement un poids égal à l'excès de son poids sur celui du volume de liqueur déplacé. En effet, le corps plongé tient la place d'un volume de liqueur qui seroit en équilibre avec le reste : le volume de liqueur qui est au dessous, ne doit donc lui céder sa place que suivant l'excès de son poids sur celui de ce volume de liqueur : or c'est cet excès que l'on appelle *pesanteur respective*. Il suit de là :

320. *Qu'un corps plongé dans un fluide perd une partie de son poids ; & cette partie perdue est parfaitement égale au poids du volume de fluide déplacé.*

Fig. 43. EXPÉRIENCE. L (*fig.* 43.) est un petit cylindre solide de cuivre, capable de remplir exactement la boîte M sous laquelle il est suspendu. On met le cylindre & la boîte en équilibre, au fléau d'une balance, avec le poids N, placé sous

l'autre baſſin ; & l'on plonge le petit cylindre dans l'eau. Alors le poids N l'emporte ; donc ce corps plongé perd une partie de ſon poids. Pour rétablir l'équilibre, il ſuffit de charger le bras de la balance d'un volume d'eau égal à celui du cylindre L plongé ; ce que l'on fait exactement en rempliſſant d'eau la boîte M. Donc ce corps plongé perd une partie de ſon poids parfaitement égale au poids du volume d'eau qu'il déplace ; & la portion de ſon poids qui lui reſte n'eſt donc que ſa peſanteur reſpective ; la ſeule qu'on auroit à ſoutenir, ſi l'on vouloit l'empêcher d'aller au fond. Voilà pourquoi il eſt ſi aiſé d'empêcher un homme de ſe noyer, par quelque endroit qu'on le ſoutienne ; car ſa peſanteur reſpective dans l'eau eſt très-peu de choſe.

321. Il ſuit de là, qu'*un corps ne tend jamais à tomber avec toute l'intenſité de ſa peſanteur abſolue* (204) ; car il eſt toujours plongé dans un fluide ; ce qui lui fait perdre une partie de ſon poids. Il ne lui reſte donc, pour tomber, que ſa peſanteur reſpective.

322. Il ſuit encore de là, 1°. Qu'*à quantité égale de matiere ou à poids égaux, plus les corps ont de volume, plus ils perdent de leur poids par l'immerſion.* Car ils déplacent alors un plus grand volume de liqueur.

323. 2°. Que, *plus la liqueur dans laquelle le*

corps est plongé, a de densité, plus ce corps perd de son poids par l'immersion. Car alors il déplace un volume de liqueur qui a plus de poids. Or c'est le poids de ce volume de liqueur déplacé qui détermine la portion de son poids que perd le corps plongé (320). Un corps perdroit donc une plus grande portion de son poids dans l'eau, que dans l'esprit-de-vin : il en perdroit encore une beaucoup plus grande portion dans le mercure.

324. *Si un corps est moins pesant qu'un pareil volume de la liqueur dans laquelle il est plongé, il surnage en partie; & ce qui reste plongé, déplace une quantité de liqueur qui pese autant que le corps entier.*

EXPÉRIENCE. Qu'on mette de l'eau dans un vase de verre garni d'un robinet par le bas (*fig.* 44.) : qu'on marque, avec une bande de papier, la hauteur à laquelle est l'eau dans le vase : qu'ensuite on y mette une grosse boule de bois. Elle surnagera en partie : & la partie plongée fera élever l'eau dans le vase autant que si l'on y avoit ajouté un volume d'eau égal au volume de la partie plongée. Qu'ensuite on ôte de l'eau, par le moyen du robinet, jusqu'à ce que la surface soit baissée jusqu'à la marque où elle étoit en premier lieu. Il est clair qu'on aura ôté un volume d'eau égal au volume de la partie plongée. Qu'on

Fig. 44.

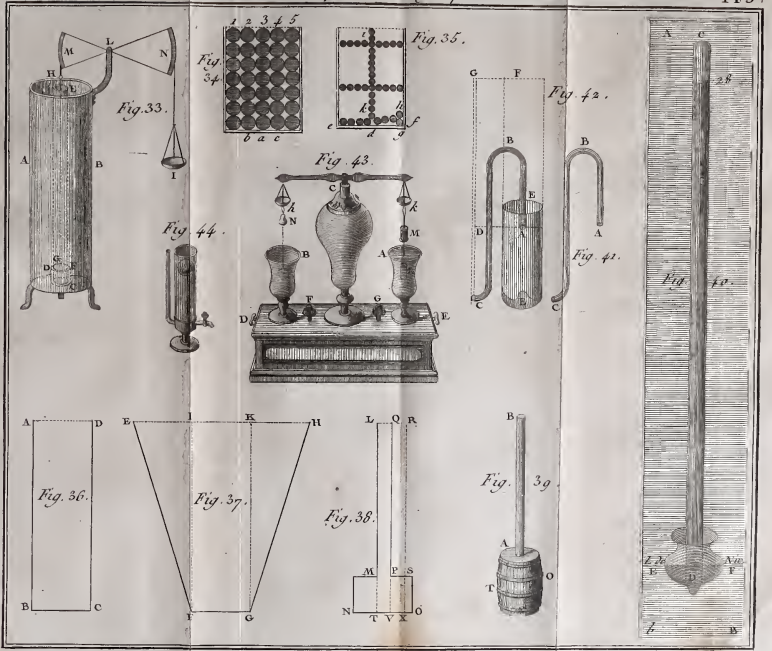


Fig. 33.
Fig. 34
Fig. 35.
Fig. 42.
Fig. 43.
Fig. 44.
Fig. 41.
Fig. 40.
Fig. 36.
Fig. 37.
Fig. 38.
Fig. 39.
Benard Direxit.

pese ensuite ce volume d'eau contre la boule de bois ; ils se feront mutuellement équilibre. Donc ils pesent autant l'un que l'autre. Donc, &c.

325. Un bateau, placé sur la riviere, déplace donc une quantité d'eau qui pese précisément autant que le bateau & toute sa charge ; & si on le charge davantage, il s'enfonce d'autant ; & sa partie plongée est d'autant plus grande qu'il est plus chargé, ou que l'eau a moins de densité. Il s'enfonce donc moins dans la mer que dans l'eau douce. Ainsi, si un bateau doit aller alternativement sur la mer & sur l'eau douce, il ne faut pas le charger autant qu'il pourroit l'être sur la mer ; car il seroit submergé dans l'eau douce.

C'est sur le principe établi ci-dessus (324), qu'est fondé l'usage de l'aréometre.

326. L'aréometre est un instrument par le moyen duquel on connoît la différence de la pesanteur spécifique des liqueurs. Le plus simple & le plus en usage consiste en une petite boule de verre mince B (*fig.* 45.), soufflée à la lampe, & dont le col AC, qui est long & d'un petit diametre, est divisé dans toute sa longueur, en parties égales. Afin que cet instrument puisse se tenir au milieu des liqueurs dans une situation verticale, on fait en sorte que le centre de gravité se trouve vers la partie inférieure : c'est *Fig.* 45.

pour cela que l'on adapte, au deſſous de la boule, une autre petite boule ſoufflée S, dans laquelle on met du mercure. Il n'y en faut mettre qu'une quantité telle que l'aréometre en entier ne peſe pas tout-à-fait autant qu'un volume des liqueurs qu'on veut éprouver par ſon moyen, égal au volume de l'aréometre même.

327. L'aréometre ainſi conſtruit, on le plonge dans les liqueurs que l'on veut comparer : il ne s'y enfonce pas en entier, puiſque nous le ſuppoſons plus léger qu'un volume de la liqueur égal au ſien : car les corps ſolides, plongés dans les liqueurs, ceſſent de s'y enfoncer, lorſqu'ils ont déplacé une quantité de liqueur dont le poids égale le leur (324). Ils s'y enfoncent donc d'autant plus profondément que la liqueur eſt plus légere ou qu'elle a moins de denſité : au contraire, ils s'y enfoncent d'autant moins profondement, que la liqueur eſt plus peſante ou qu'elle a plus de denſité. De ſorte que ſi le poids de l'aréometre eſt tel qu'il s'enfonce dans l'eau juſqu'à E, il s'enfoncera plus profondément dans des liqueurs plus légeres : il s'enfoncera, par exemple, dans le vin juſqu'à F ; dans l'eſprit-de-vin, juſqu'à G, &c. Mais, ſi on le plonge dans des liqueurs plus peſantes que l'eau, il ne s'y enfoncera pas ſi profondément qu'E : par exemple, dans la biere il ne s'enfoncera que juſqu'à D, & toujours

d'autant moins que la liqueur, dans laquelle on le plongera, ſera plus denſe, & par conſéquent plus peſante.

328. Par ce procédé on connoîtra ſi une liqueur eſt plus ou moins peſante qu'une autre, à laquelle on la compare : mais on ne connoîtra pas de combien ; car, pour cela, il faudroit connoître exactement le rapport qu'il y a de la tige AC, aux boules B & S ; ce qui eſt impoſſible, d'après la conſtruction ci-deſſus (*326*) : il faudroit de plus que la tige AC fut parfaitement cylindrique ; ce qui n'arrive jamais. Le plus ſûr moyen d'acquérir cette connoiſſance exacte, eſt d'opérer toujours ſur des volumes égaux. Pour cela il faut faire uſage de l'aréometre de *Farenheit*, qui eſt, ſans contredit, le meilleur de tous ceux qu'on a imaginé juſqu'à préſent.

329. L'aréometre de *Farenheit* (*fig.* 46.) eſt compoſé d'une petite bouteille ovale de verre mince B, ſoufflée à la lampe, dont le col AC, qui eſt très-menu, eſt ſurmonté d'un petit baſſin DE, deſtiné à recevoir de petits poids. L'inſtrument eſt leſté au moyen d'une petite boule de verre ſoufflée S, adaptée à ſa partie inférieure, & dans laquelle on a mis du mercure. On fixe, ſur le col, un petit grain d'émail *a* ; & l'inſtrument eſt conſtruit. *Fig.* 46.

330. Pour faire uſage de cet aréometre, il

faut commencer par connoître exactement son poids, qu'on fera bien de marquer dessus, afin de ne pas l'oublier. Ensuite on plonge l'instrument dans de l'eau distillée; &, en le chargeant de poids, on l'y fait enfoncer jusqu'au grain d'émail *a*. La somme des poids qu'on a mis dans le bassin DE, pour produire cet enfoncement, jointe au poids de l'aréometre, donne exactement le poids du volume d'eau, mesuré par l'aréometre (324). On n'a qu'à faire la même opération sur telle autre liqueur qu'on voudra; & l'on aura, avec la même exactitude, le poids du volume de cette liqueur mesuré par l'aréometre. Or il est clair que ces deux volumes sont parfaitement égaux, puisqu'ils sont mesurés par le même instrument: la différence de leurs poids donnera donc la différence de leur pesanteur spécifique, ou le rapport de leurs densités. Pour connoître ce rapport, on fera cette proportion: La pesanteur spécifique de cette liqueur est à celle de l'eau distillée, comme le poids du volume de cette liqueur, mesuré par l'aréometre, est au poids du volume d'eau, aussi mesuré par l'aréometre. Si l'on connoît exactement la pesanteur spécifique de l'une, on connoîtra par-là la pesanteur spécifique de l'autre, ainsi que celle de toutes les liqueurs qu'on éprouvera de la même maniere.

Si l'on veut connoître les différentes especes d'aréometres

d'aréometres imaginées jusqu'à présent, on les trouvera exactement décrites dans mon *Dictionnaire raisonné de Physique*, *Tom.* 1. *pag.* 137 *& suiv.*

331. C'est d'après les principes que nous avons établis ci-dessus (315, 320), qu'on peut connoître la pesanteur spécifique des corps, soit solides, soit fluides. Cette pesanteur est le poids que pese un corps sous un volume connu & déterminé, comme, par exemple, un pouce cube, ou un pied cube. Pour acquérir cette connoissance, on pese les corps hydrostatiquement, c'est-à-dire, 1°. dans l'air; 2°. dans l'eau. Il faut se servir, en pareil cas, d'eau distillée, afin d'être sûr d'avoir toujours la même; & faire en sorte que cette eau soit, dans toutes les épreuves, à la même température. On sait qu'un corps plongé dans l'eau, déplace un volume d'eau parfaitement égal au sien (315), & qu'alors il perd une portion de son poids parfaitement égale au poids du volume d'eau qu'il déplace (320). On a donc par-là, 1°. le poids de ce corps : 2°. le poids d'un volume d'eau parfaitement égal au volume de ce corps. Ces deux poids, comparés l'un à l'autre, donnent le rapport qu'il y a entre la pesanteur spécifique de ce corps & celle de l'eau (dont je suppose la pesanteur spécifique connue), en faisant cette proportion, dans laquelle 10000

représentent la pesanteur spécifique de l'eau : & l'on dit : Le poids du volume d'eau déplacé par ce corps, est au poids de ce corps, comme 10000 est à un quatrième terme, qui représente la pesanteur spécifique de ce corps.

Il ne laisse pas que d'y avoir des difficultés pour obtenir de l'exactitude dans les épreuves. Si l'on veut connoître ces difficultés, ainsi que les moyens de les prévenir, on les trouvera, les uns & les autres, exactement détaillés dans le *Discours préliminaire* de mon Ouvrage sur la *Pesanteur spécifique des corps.*

332. De ce que nous venons de dire, il suit, 1°. que, *quand deux corps sont égaux en volumes, leurs pesanteurs spécifiques sont l'une à l'autre comme leurs masses.* Ainsi un corps est d'une pesanteur spécifique double de celle d'un autre, lorsqu'il a deux fois la masse de cet autre sous le même volume.

333. 2°. *Lorsque deux corps perdent des poids égaux dans la même eau, ils ont sûrement des volumes égaux*, quelque figure qu'ils aient; puisqu'ils y perdent toujours des poids égaux aux poids des volumes d'eau qu'ils déplacent (320).

334. 3°. *Les pesanteurs spécifiques des corps qui sont du même poids, sont en raison réciproque de leurs volumes.* Ainsi un corps est d'une pe-

ſanteur ſpécifique double de celle d'un autre corps, lorſqu'avec le même poids il n'a que la moitié du volume de l'autre corps.

335. 4°. *Les peſanteurs ſpécifiques des deux corps ſont en raiſon compoſée de la raiſon directe de leurs maſſes, & de la raiſon réciproque de leurs volumes.* Cette propoſition eſt une ſuite néceſſaire des deux précédentes (332, 334).

336. 5°. *Un même corps perdra une plus grande portion de ſon poids dans un fluide ſpécifiquement plus peſant, que dans un plus léger*; puiſqu'il perdra toujours une portion de ſon poids égale au poids du volume de fluide qu'il déplace (320). Il faut donc plus de force pour le ſoutenir dans un fluide plus léger, que pour le ſoutenir dans un fluide plus peſant : il faut plus de force pour le ſoutenir dans l'air, que pour le ſoutenir dans l'eau.

337. 6°. *Les peſanteurs ſpécifiques des corps également peſans ſont réciproquement comme les quantités de leur poids qu'ils perdent dans le même fluide.* Ainſi ; ſi, de deux corps de poids égaux, l'un perd $\frac{1}{5}$, & l'autre $\frac{2}{5}$ de ſon poids dans le même fluide, la peſanteur ſpécifique du premier eſt à celle du ſecond, comme 2 eſt à 1 ; en raiſon réciproque des pertes de poids.

338. 7°. *Si un corps eſt de la même peſanteur ſpécifique qu'un fluide, & qu'on l'y plonge,*

il s'arrêtera à quelque profondeur du fluide qu'on le place; il y ſera en équilibre.

339. 8°. *Si un corps ſpécifiquement moins peſant qu'un fluide y eſt entiérement plongé, & qu'on le lâche, il remontera avec une force égale à l'excès du poids d'un volume de ce fluide égal au ſien, ſur le poids de ce corps.* C'eſt par cette raiſon que les ballons s'élevent dans l'air.

340. 9°. *La peſanteur ſpécifique d'un ſolide eſt à celle d'un fluide plus peſant, & ſur lequel il nage, comme le volume de la partie plongée eſt au volume du corps entier.* Ainſi, ſi le volume de la partie plongée eſt au volume du corps entier, comme 2 eſt à 3; la peſanteur ſpécifique de ce ſolide eſt à celle du fluide, comme 2 eſt à 3.

341. 10°. *Le poids & le volume d'un corps, ainſi que la peſanteur d'un fluide, ſpécifiquement plus peſant que ce corps, étant donnés, trouver la force requiſe pour tenir ce corps entiérement plongé dans le fluide.*

Comme cette force eſt égale à la peſanteur reſpective du fluide (319), au moyen du volume donné du ſolide & du poids connu d'un pied cube du fluide, trouvez, par la regle de trois, le poids d'un volume du fluide égal au volume du ſolide. Otez de ce poids le poids du ſolide: le reſte eſt la force demandée. Par exemple,

ſuppoſons que l'on demande la force néceſſaire pour ſoutenir plongé dans l'eau un ſolide de 8 pieds cubes de volume & de 400 livres de poids. Puiſqu'un pied cube d'eau peſe 70 livres, le poids de 8 pieds cubes d'eau eſt 560 livres : ôtez-en 400 livres ; les 160 livres reſtantes ſont la force néceſſaire pour tenir le ſolide plongé dans l'eau, & l'empêcher de remonter.

342. 11°. *Le poids d'un corps, qui doit être conſtruit d'une matiere ſpécifiquement plus peſante qu'un fluide, & la peſanteur de ce fluide ſpécifiquement plus léger, étant donnés, déterminer la cavité que le corps doit avoir pour nager ſur le fluide.*

Le poids d'un pied cube du fluide étant donné, on trouve, par la regle de trois, le volume de la portion du fluide égale en poids à celui du corps. Si donc on fait la cavité du corps telle que le volume ſoit un peu plus grand que le volume trouvé, le corps aura moins de poids ſous le même volume que le fluide ; & par conſéquent ſera ſpécifiquement moins peſant ; donc il nagera ſur le fluide. Par exemple, ſuppoſons qu'on propoſe de faire une boule de fer de 30 livres, & qui ait un volume tel qu'elle puiſſe nager ſur l'eau. Puiſque le poids d'un pied cube d'eau eſt 70 livres, un volume d'eau égal en poids à 30 livres ſera les $\frac{3}{7}$ d'un pied cube : on trouvera

facilement quel doit être le diametre d'une sphere, pour qu'elle ait $\frac{1}{7}$ de pied cube de solidité. On fera ensuite la boule de fer de maniere qu'elle soit creuse en dedans, & que son diametre soit plus grand que le diametre trouvé : si l'on donne à cette boule 11 pouces 3 lignes de diametre, elle surnagera. Il n'est donc pas nécessaire que, pour qu'un corps surnage, il soit d'une matiere en elle-même plus légere que l'eau : il suffit de lui donner un grand volume & peu de masse. Aussi, quoique le cuivre soit environ 8 fois aussi pesant que l'eau, on a à l'armée des gondoles de cuivre pour établir des ponts pour le passage des troupes.

Phénomenes des Tuyaux capillaires.

343. On appelle *Tuyaux capillaires*, les tuyaux menus, ou qui n'ont qu'un petit diametre. Ce nom-là leur vient sans doute de leur ressemblance par leur petitesse avec les cheveux (en latin *capilli*). Cependant il n'est pas nécessaire qu'ils soient aussi menus que des cheveux : ceux dont on fait usage en Physique, le sont beaucoup moins ; & même leurs effets se font appercevoir, quoique leur diametre intérieur égale 2 lignes ou $2\frac{1}{2}$ lignes. Ils peuvent être faits de toutes sortes de matieres, de verre, de métal, &c. & peuvent avoir toutes sortes de formes. Tous les corps assez poreux &

capables d'admettre les liqueurs dans leur intérieur, peuvent même être considérés comme des assemblages de tuyaux capillaires.

344. Nous plaçons ici les phénomenes des tuyaux capillaires, parce qu'ils paroissent être des exceptions aux loix de l'hydrostatique. Une de ces loix (291) est que *toutes les parties d'une même liqueur sont en équilibre entre elles, soit dans un seul vaisseau, soit dans plusieurs qui communiquent ensemble, lorsque leurs surfaces supérieures sont dans un même plan parallele à l'horizon.* Or voici ce qui arrive avec les tuyaux capillaires.

345. 1°. Si l'on plonge l'extrémité d'un tuyau capillaire dans un vase plein de liqueur, aussi-tôt la liqueur s'éleve dans le tuyau au dessus de son niveau.

346. 2°. Si l'on plonge le même tuyau capillaire dans différentes liqueurs, toutes s'élevent dans le tuyau au dessus de leur niveau, mais à des hauteurs différentes : & ce ne sont pas toujours les moins pesantes qui s'élevent le plus haut ; car l'esprit-de-vin s'y éleve beaucoup moins haut que l'eau, l'acide nitrique, l'eau salée, l'acide sulfurique concentré, l'urine, &c. & ce sont celles que je viens de nommer les dernieres, qui s'y élevent le plus haut. D'où il suit qu'elles ne s'y élevent point en raison inverse de leurs densités ; ce qui devroit être, si leur élévation étoit un effet d'équilibre. Ce-

ne sont-pas même toujours les plus légeres qui s'y élevent le moins; puisque l'urine s'y éleve plus haut que l'acide sulfurique concentré. Ce qui fait voir que cette élévation ne suit aucune regle connue.

347. 3°. Si l'on plonge dans la même liqueur deux tuyaux capillaires de diametres différens, la liqueur s'y éleve au dessus de son niveau à des hauteurs qui sont en raison inverse des diametres des tuyaux.

348. 4°. Le contraire de tout cela arrive avec le mercure : car si l'on plonge un tuyau capillaire dans du mercure, 1°. il s'y tient plus bas que son niveau; 2°. d'autant plus bas, que le tuyau est plus étroit; 3°. & ce *plus bas* est en raison inverse des diametres des tuyaux.

349. Il y a long-temps que l'on cherche la raison de ces phénomenes si contraires aux loix de l'hydrostatique, & si oppofés à ce que l'on connoît d'ailleurs; mais on ne peut pas encore se flatter de l'avoir trouvée. On peut ranger en trois classes les différentes opinions qu'on a propofées sur cette matiere.

350. La premiere comprend celles qui attribuent ces phénomenes à la pression inégale du fluide environnant; en fuppofant qu'il presse plus librement & d'une maniere plus complette sur la surface du vase AB (*fig.* 47) qui contient la

Fig. 47.

liqueur, que par l'orifice supérieur du tuyau plongé D. On ne peut pas attribuer ces effets à la pression de l'air que nous respirons, puisque les mêmes phénomenes ont lieu dans le vide de Boyle. Il faut donc que cela dépende d'un fluide beaucoup plus subtil, dont nous ne nions pas l'existence. Mais si cela venoit de l'inégalité de pression de ce fluide, les liqueurs devroient s'élever, 1°. proportionnellement à la longueur du tuyau; car si ce fluide y trouvoit de la difficulté, il est certain qu'il en éprouveroit davantage dans un plus long que dans un plus court; cependant cela n'arrive pas. L'élévation de la liqueur dépend uniquement du diametre intérieur du tuyau, & point du tout de sa longueur. 2°. Les liqueurs devroient s'élever en raison inverse de leurs densités: or, comme nous l'avons dit ci-dessus (346), l'expérience prouve que cela n'est pas. 3°. Le mercure devroit s'élever, dans tous les tuyaux capillaires, au dessus de son niveau, de même que le font les liqueurs; ou bien il faudroit dire que, quand on présente le tuyau capillaire à du mercure, ce fluide presse plus librement par l'orifice supérieur du tuyau, que sur la surface du vase; ce qui seroit absurde. 4°. Une preuve bien complette que ces effets ne dépendent point d'une pression plus ou moins libre, c'est que, si, au lieu de plonger le tuyau dans la liqueur, on en fait couler une goutte ou deux en dehors & selon la

longueur du tuyau, dès qu'elle est parvenue à l'orifice inférieur, elle y remonte comme dans les autres cas. Cette première opinion n'est donc rien moins que satisfaisante.

351. La seconde classe comprend les opinions de ceux qui prétendent que la petite colonne de liqueur perd son poids par son adhérence au tuyau, ou par le frottement. Ces opinions sont si mal conçues, qu'à peine méritent-elles qu'on y réponde. Il est certain, & l'expérience prouve que, pour que la liqueur monte dans le tuyau capillaire, il n'est point nécessaire de l'y plonger; il suffit qu'il touche à la surface de la liqueur, le plus légèrement possible; alors la liqueur monte. Il faut donc une cause qui la fasse monter. J'avoue qu'on conçoit aisément comment une petite colonne de liqueur, une fois montée dans un tuyau capillaire, y pourroit être retenue par le frottement ou par son adhérence aux parois du tuyau; mais on conçoit de même que ce frottement ou cette adhérence, au lieu de l'y faire monter, devroit l'en empêcher.

352. La troisième classe comprend les opinions de ceux qui supposent que le tuyau, ayant plus de masse ou de densité que la liqueur, l'attire plus puissamment qu'elle ne s'attire elle-même: voilà pourquoi, disent-ils, le mercure se tient dans les tuyaux capillaires au dessous de son niveau (348);

parce qu'il s'attire plus puiſſamment lui-même, qu'il n'eſt attiré par les tuyaux, qui ont moins de denſité que lui. Mais ſur quoi eſt fondée cette ſuppoſition ? Suivant quelles loix agit cette attraction ? Si ces loix étoient les mêmes que celles de l'attraction générale, développées par *Newton*, 1°. les liqueurs devroient toujours être attirées en raiſon inverſe de leurs maſſes ; c'eſt-à-dire que les moins denſes devroient être plus fortement attirées que les plus denſes, & par conſéquent s'élever à une plus grande hauteur : or c'eſt ſouvent le contraire ; car il y a des liqueurs plus denſes, qui s'élevent beaucoup plus haut que d'autres liqueurs moins denſes (346). 2°. L'attraction des tuyaux devroit être proportionnelle à leur maſſe : or cela n'eſt pas ; car, de quelque matiere que ſoient faits pluſieurs tuyaux, pourvu que le diametre intérieur ſoit le même dans tous, la même liqueur s'y élevera à la même hauteur. 3°. Les liqueurs devroient ſe tenir au deſſous de leur niveau, dans des tuyaux faits d'une matiere moins denſe qu'elles ; car alors, ſuivant les loix de l'attraction, elles s'attireroient plus puiſſamment elles-mêmes, qu'elles ne ſeroient attirées par les tuyaux. Or le contraire arrive chaque jour. Les corps poreux, & qu'on doit regarder comme des aſſemblages de tuyaux capillaires, admettent dans leurs pores & élevent au deſſus de leur niveau, des liqueurs

plus denſes qu'eux-mêmes. De plus, le mercure, qui ſe tient au deſſous de ſon niveau dans un tuyau de verre (348), parce que le verre a, dit-on, une denſité moindre que la ſienne, devroit, par la même raiſon, ſe tenir au deſſous de ſon niveau dans un tuyau d'étain, qui n'a guere que la moitié de la denſité du mercure. Or le contraire arrive, comme je l'ai éprouvé moi-même. Ayant plongé dans du mercure un petit tuyau d'étain, d'environ un quart de ligne de diametre, j'ai vu le mercure s'y élever pour le moins juſqu'à ſon niveau. Je ſuis perſuadé qu'il s'éleveroit de même dans un tuyau d'or, d'argent, ou de plomb. Il paroît donc qu'en général les liqueurs s'élevent au deſſus de leur niveau, dans les tuyaux qu'elles peuvent mouiller, ou auxquels elles peuvent adhérer : voilà une des raiſons pour leſquelles le mercure ſe tient au deſſous de ſon niveau dans les tuyaux de verre, auxquels il n'adhere point.

353. Eſt-ce que l'attraction, qu'on prétend être la cauſe des phénomenes des tuyaux capillaires, ſuivroit, ſinon la raiſon des maſſes, du moins la raiſon des ſurfaces ? L'expérience prouve que non. Car elle nous apprend que les liqueurs s'élevent dans les tuyaux capillaires en raiſon inverſe de leurs diametres (347) ; c'eſt-à-dire que, ſi la colonne de liqueur élevée au deſſus de ſon niveau eſt d'un pouce de haut dans un tuyau d'une ligne

de diametre, elle ſera de deux pouces de haut dans un tuyau d'une demi-ligne, & ainſi des autres. Par conſéquent la ſurface intérieure du tuyau, touchée par la liqueur, eſt dans tous de la même étendue, puiſque les circonférences ſont en raiſon directe des diametres. Cependant la quantité de liqueur élevée au deſſus de ſon niveau eſt, comme on le voit clairement, plus conſidérable dans les gros tuyaux que dans les petits, puiſque les ſolidités ſont comme les quarrés des diametres. La force attractive n'eſt donc pas proportionnelle à l'étendue des ſurfaces attirantes; ce qui devroit pourtant être : ou bien il faudroit dire que la même cauſe ne produit pas conſtamment le même effet; ce qu'on ne peut pas admettre.

354. M. *Jurin* (*Tranſ. Phil. n°. 363, art. 2*), d'après des expériences, à la vérité très-ingénieuſes, mais qui, de ſon aveu même, ne ſont point du tout concluantes, a cependant cru pouvoir conclure que l'attraction du tuyau n'agit que par le cercle annulaire de la ſurface intérieure où ſe termine la colonne de liqueur. Voici ſes expériences.

Expériences. Il a fait ſouder l'un à l'autre deux tuyaux capillaires AD & CB (*fig.* 48), dont le diametre de l'un CB étoit beaucoup plus grand que celui de l'autre AD. Suppoſons que dans le gros l'eau ne pût s'élever que de 6 lignes au deſſus *Fig.* 48.

de son niveau, & de deux pouces dans le petit. Il a plongé dans l'eau le tuyau A B par le gros bout B, mais assez profondément pour faire arriver l'eau jusqu'en D, c'est-à-dire, de 2 où 3 lignes dans le petit diametre : alors il a pu relever le tuyau de 2 pouces hors de l'eau, sans que l'eau retombe ; quoique la très-grande partie de cette colonne de 2 pouces fût dans le gros tuyau. Ensuite il a plongé le même tuyau par le petit bout G, de maniere à faire arriver l'eau jusqu'en F, c'est-à-dire, d'environ 2 lignes dans le gros diametre : alors il n'a pu relever le tuyau de plus de 6 lignes hors de l'eau, sans que l'eau retombât, quoique la plus grande partie de cette colonne de 6 lignes fût dans le petit diametre. D'où M. *Jurin* conclut que l'élévation de la liqueur ne dépend que de l'attraction du cercle annulaire de la surface intérieure du tuyau, où se termine la colonne de liqueur, puisque cette élévation change avec le diametre de cet anneau.

355. M. *Jurin*, ne tendant qu'à la connoissance de la vérité, ne dissimule rien de ce qui peut infirmer son opinion. L'expérience précédente (354) peut être faite de maniere qu'elle prouve trop, & qu'elle devienne elle même un nouveau phénomene, qui exige une nouvelle explication.

Fig. 48. *Fig.* 49. EXPÉRIENCE. Au lieu du tuyau A B (*fig.* 48), il emploie un entonnoir I K L (*fig.* 49), qui peut

avoir plusieurs pouces de largeur, & qui est terminé par un tuyau capillaire H; supposons encore que ce tuyau capillaire soit d'un diametre tel, que l'eau puisse s'y élever de 2 pouces au dessus de son niveau. Si l'on plonge cet entonnoir renversé assez profondément pour que l'eau arrive dans le tuyau capillaire H, on pourra alors soulever l'entonnoir d'environ 2 pouces hors de l'eau, sans que l'eau retombe. Si l'attraction du cercle annulaire soutient la colonne HI, quelle est la cause qui soutient la grande quantité d'eau qui environne cette colonne? On a répondu que cette masse d'eau étoit soutenue par l'attraction & l'adhérence de la partie concave LK de l'entonnoir.

356. Mais M. *Jurin* détruit encore cette explication par une nouvelle expérience.

Expérience. Il s'est servi d'un entonnoir qui avoit la forme de celui de la *fig.* 50, & qui étoit *Fig.* 50. aussi terminé par un tuyau capillaire. Il l'a plongé, mais de maniere à ne le remplir que jusqu'à quelques lignes de la partie concave : ensuite, avec le bout du doigt mouillé, il a introduit une goutte d'eau dans le tuyau capillaire. Alors il a soulevé hors de l'eau une partie de l'entonnoir, telle qu'il y avoit au dessus du niveau une colonne d'une hauteur égale à celle qu'auroit pu soutenir un tuyau capillaire du même diametre que celui qui terminoit l'entonnoir. On ne peut pas dire, en pareil cas,

que c'eſt l'adhérence de la partie concave de l'entonnoir qui ſoutient la colonne, puiſqu'il n'y a pas de contact.

357. Si nous voulons être de bonne foi, nous avouerons ingénument que nous ne ſommes pas encore aſſez inſtruits ſur les cauſes (car il y en a peut-être pluſieurs qui agiſſent enſemble) de l'aſcenſion des liqueurs au deſſus de leur niveau dans les tuyaux capillaires. Mais ce ſont des faits conſtans qui peuvent ſervir à en expliquer d'autres; comme la peſanteur, dont la vraie cauſe ne nous eſt pas bien connue, ſert à expliquer beaucoup de phénomenes. L'élévation des liqueurs dans les tuyaux capillaires m'explique pourquoi une bûche debout ſe trouve humide juſqu'au haut, quoiqu'elle ne ſoit qu'en partie plongée dans l'eau. Cela m'explique comment la ſeve s'éleve depuis les racines juſqu'aux extrémités des branches d'un arbre. Dans l'un & l'autre, il y a une grande quantité de tuyaux capillaires. Le corps humain, ainſi que celui des animaux, eſt une machine hydraulique; & dans le nombre preſque infini de tuyaux qui le compoſent, celui des capillaires eſt ſans comparaiſon le plus grand. Il n'eſt donc pas étonnant que les fluides paſſent ſi promptement & ſi aiſément d'un endroit à l'autre. Il y a une grande quantité d'autres phénomenes, qui ne ſont que des dépendances de ceux des tuyaux capillaires.

De l'Hydraulique ; ou des Mouvemens des Fluides.

358. On appelle *hydraulique*, la Science qui a pour objet les mouvemens des fluides. C'eſt d'après les principes ſur leſquels eſt fondée cette Science ; qu'on trouve les moyens de conduire les eaux d'un lieu à un autre, par des canaux, des aqueducs, des pompes & autres machines hydrauliques ; & de les élever, tant pour les rendre jailliſſantes, que pour d'autres uſages.

Ce que nous allons dire dans ce chapitre, eſt en grande partie extrait de l'*hydrodynamique* de M. *l'Abbé Boſſut*, Ouvrage dans lequel il a rendu compte d'une très-belle ſuite d'expériences qu'il a faites ſur cette matiere, & qui ſont bien propres à guider dans la pratique. Ce ſont les réſultats de ces expériences que nous allons donner ici.

Ecoulemens des Fluides ou Liqueurs par de petits orifices.

359. Lorſque l'eau s'écoule d'un vaſe percé à ſon fond d'un orifice qui ſoit petit en comparaiſon de la largeur du vaſe ; 1°. l'eau deſcend verticalement, & la ſurface paroît plane ; mais à 3 ou 4 pouces du fond, les particules ſe détournent de cette direction, & viennent de tous

côtés, suivant des mouvemens plus ou moins obliques, gagner l'orifice. Il en est de même lorsque l'eau sort par une ouverture latérale. La tendance de ces particules vers l'orifice est une suite nécessaire de leur parfaite mobilité; car elles doivent se diriger vers le point qui résiste le moins aux forces qui les pressent : or l'endroit de l'orifice est ce point de moindre résistance.

360. 2°. A une petite distance du fond, il commence à se former un entonnoir, dont la pointe répond au centre de l'orifice. Lorsque l'eau sort par une ouverture latérale, il ne se forme qu'une espece de demi-entonnoir, & qui ne paroît commencer que quand la surface est près de toucher le bord supérieur du trou. Il est probable que l'entonnoir commence à se former dès le premier moment de l'écoulement; mais il ne devient sensible que lorsque la surface est à une petite distance du fond; parce que, lorsque cette surface en est loin, les parties inférieures pressées par les supérieures, sont portées rapidement dans la direction de l'écoulement. La vraie cause de la formation de l'entonnoir est l'inégalité de pression de la part de l'air au dessus & au dessous de l'orifice; parce que l'eau, en tombant par cet orifice, repousse l'air, & détruit une partie de sa réaction.

Il paroît que l'entonnoir commence à une

hauteur d'autant plus grande au deſſus du fond, que le fond eſt plus large; & que la formation de l'entonnoir eſt moins prompte ou moins ſenſible, à meſure que l'orifice augmente comparativement à l'étendue du fond. L'aſpérité plus ou moins grande du fond & des parois du vaſe contribue auſſi à augmenter plus ou moins l'entonnoir.

361. La vîteſſe de l'eau, à ſa ſortie d'un vaſe par un petit orifice percé à ſon fond, eſt égale à celle qu'acquerroit un corps grave en tombant de la hauteur verticale de la ſurface du fluide au deſſus de l'orifice (255).

362. La même choſe a lieu pour un orifice latéral; car la preſſion du fluide eſt égale (à même profondeur) en toutes ſortes de ſens (288), & doit par conſéquent produire la même vîteſſe.

363. La liqueur, au ſortir de l'orifice, a une vîteſſe capable de la faire remonter à une hauteur verticale égale à celle de la ſurface du fluide au deſſus de l'orifice: de même qu'un corps, en tombant par ſa peſanteur d'une certaine hauteur, acquiert une vîteſſe capable de le faire remonter à cette hauteur (255).

364. On voit de même, par la théorie de la chûte des graves (217), que, ſi la vîteſſe de la liqueur, au ſortir de l'orifice, étoit continuée uniformément, la liqueur parcourroit un eſpace

double de la hauteur de la liqueur au deſſus de l'orifice, pendant le même temps qu'un corps peſant emploieroit à tomber de cette hauteur.

365. Cette hauteur étant la même, la vîteſſe du fluide, au ſortir de l'orifice, ſera toujours la même, quelle que ſoit l'eſpece du fluide, & quelle que ſoit ſa denſité, puiſqu'elle a conſtamment pour valeur la vîteſſe due à cette hauteur. Il eſt bien vrai que, lorſque la liqueur a plus de denſité, elle preſſe davantage; mais auſſi la maſſe chaſſée eſt plus conſidérable. En général, il eſt évident que, lorſque les forces motrices ſont proportionnelles aux maſſes qu'elles mettent en mouvement, les vîteſſes ſont égales.

366. Les quantités de liqueur qui ſortent dans le même temps par des orifices différens, chacune ſous des hauteurs ou charges conſtantes (en ſuppoſant par conſéquent que les vaſes ſont entretenus également pleins pendant toute la durée de l'écoulement), ſont entre elles comme *les produits des aires des orifices par les racines quarrées des hauteurs*. Par exemple, l'expérience a appris qu'un orifice circulaire de 1 pouce de diametre, percé dans une mince parois, ſous 4 pieds de charge, fournit dans 1 minute de temps, 5436 (373) pouces cubes d'eau. Si l'on veut ſavoir ce que fournira, dans le même temps, un orifice circulaire de 2 pouces de diametre, ſous 9 pieds

de charge, on fera la proportion suivante. (Il faut observer que l'orifice de 2 pouces est 4 fois aussi grand que l'orifice de 1 pouce ; parce que les aires des cercles sont comme les quarrés des diametres). $1 \times \sqrt{4} : 4 \times \sqrt{9} :: 5436 : x$, ou 2 : 12 :: 5436 pouces cubes : 32616 pouces cubes d'eau. C'est cette derniere quantité que fournira l'orifice de 2 pouces de diametre, sous 9 pieds de charge.

367. Si l'on remplit d'eau un vase prismatique, & qu'on lui permette de se vider entiérement par un orifice fait à son fond, & qu'on mesure le temps qu'il met à se vider ; qu'ensuite l'ayant rempli de nouveau, on l'entretienne constamment plein, tandis que l'eau sort par l'orifice : il sortira, dans ce second cas, pendant le même intervalle de temps que le vase a mis d'abord à se vider entiérement, une quantité d'eau double de celle qui est sortie dans le premier cas, abstraction faite de l'entonnoir (360) qui, dans ce second cas, n'a pas lieu.

368. Dans la pratique, les eaux sortent souvent par des ouvertures latérales, qui, quoique petites en comparaison des largeurs des réservoirs, ne peuvent cependant pas être censées avoir tous leurs points à égales distances de la surface du fluide. Tels sont, par exemple, les pertuis des moulins. Alors la méthode ordinaire est de dé-

terminer l'écoulement d'après le raisonnement suivant. Concevons d'abord que l'orifice soit bouché par une plaque, & qu'ensuite on perce cette plaque d'un grand nombre de trous par lesquels l'eau s'échappe. En regardant chacun de ces trous comme un orifice particulier & isolé, la vîtesse pour chacun sera due à la hauteur correspondante du fluide. Donc, si l'on multiplie le nombre des trous à l'infini, ou, ce qui revient au même, si l'on imagine que la plaque entiere soit ôtée, la vîtesse, en chacun des points de l'orifice proposé, sera due à la hauteur correspondante du fluide : & dans la détermination de la quantité d'eau écoulée, il faudra avoir égard à cette inégalité de vîtesses.

369. On ne peut cependant pas se dissimuler que ce raisonnement n'est pas bien concluant. Tant que la somme des petits trous percés dans la plaque substituée à l'orifice, est fort petite en comparaison de la largeur du réservoir, les portions de liqueurs qui sortent par chaque trou, sont chassées par les poids absolus des colonnes supérieures. Mais du moment que le nombre des trous augmente à l'infini, & que les filets deviennent contigus les uns aux autres, on ne voit pas clairement qu'ils doivent sortir de la même maniere qu'ils sortiroient par de petits trous isolés. Cependant, comme cette hypothese donne des

réſultats aſſez conformes à l'expérience, il peut être utile de la conſerver, d'autant plus qu'elle mêne a des calculs fort ſimples; & que dans les queſtions uſuelles, il faut rechercher cette ſimplicité autant qu'il eſt poſſible.

370. La quantité d'eau qui ſort par ces orifices, dans un temps donné, n'eſt pas auſſi grande que ſemble le promettre la grandeur de leur ouverture; parce que la veine fluide ſe contracte au ſortir de l'orifice; & cela juſqu'à une diſtance qui égale à peu près la moitié du diametre de l'orifice : & le diametre de la veine contractée eſt au diametre de l'orifice comme un peu plus de 3 à 4, ou comme $3\frac{1}{6}$ à 4, ou 19 à 24. De ſorte que ſon aire eſt à celle de l'orifice comme 10 à 16. C'eſt à peu près la même choſe lorſque l'eau s'écoule par des ouvertures latérales. La contraction de la veine fluide eſt une preuve de ce que nous avons dit ci-deſſus (359), ſavoir, que dans l'intérieur du vaſe les particules latérales ſe dirigent vers l'orifice ſuivant des mouvemens plus ou moins obliques : & ce mouvement oblique peut ſe décompoſer en deux autres; l'un parallele au plan de l'orifice, & qui reſſerre la veine fluide; l'autre perpendiculaire au même plan, & le ſeul qui produiſe l'écoulement.

371. Cette contraction a lieu auſſi quand on fait écouler l'eau par des tuyaux, & cela à l'entrée

de l'eau dans ces tuyaux, & non pas à sa sortie, où la veine fluide conserve la forme cylindrique. L'on verra ci-après que cette contraction diminue, d'une maniere sensible, les quantités d'eau que ces tuyaux devroient fournir naturellement.

372. Pour s'assurer de tous ces faits par des expériences, on en a fait un grand nombre, dont je ne donne ici que les résultats. Dans tous les cas, les orifices par lesquels s'est fait l'écoulement, étoient percés bien perpendiculairement dans des plaques de cuivre d'environ $\frac{1}{2}$ ligne d'épaisseur : & les temps des écoulemens, pour chaque expérience, sont réduits à 1 minute.

373. *Hauteur constante de l'eau au dessus du centre de chaque orifice* = 11 *pieds* 8 *pouces* 10 *lignes.*	*Nombre de pouces cubes fournis en* 1 *minute.*
EXPÉR. 1. Par un orifice horizontal & circulaire de 6 lignes de diametre..	2311
2. Par un orifice horizontal & circulaire de 1 pouce de diametre.	9281
3. Par un orifice horizontal & circulaire de 2 pouces de diametre.	37203
4. Par un orifice horizontal & rectangulaire de 1 pouce de long sur 3 lignes de large.....	2933
5. Par un orifice horizontal & quarré de 1 pouce de côté.....	11817
6. Par un orifice horizontal & quarré de 2 pouces de côté.....	47361
Hauteur constante = 9 *pieds.*	
7. Par un orifice latéral & circulaire de 6 lignes de diametre.....	2018
8. Par un orifice latéral & circulaire de 1 pouce de diametre.....	8135
Hauteur constante = 4 *pieds.*	
9. Par un orifice latéral & circulaire de 6 lignes de diametre.....	1353
10. Par un orifice latéral & circulaire de 1 pouce de diametre.....	5436
Hauteur constante = 7 *lignes.*	
11. Par un orifice latéral & circulaire de 1 pouce de diametre.....	628

374. Il suit de ces expériences, 1°. que *les dépenses d'eau faites en temps égaux par différens orifices sous une même hauteur de réservoir, sont entre elles, à peu de chose près, comme les aires de ces orifices.* Comparez ensemble les résultats de la 2e. & de la 3e. expérience, dont les aires des orifices sont dans le rapport de 1 à 4; & vous trouverez que les deux dépenses, 9281 pouces cubes & 37203 pouces cubes sont, à peu de chose près, dans le même rapport.

375. 2°. Que *les dépenses d'eau faites, en temps égaux par une même ouverture, sous différentes hauteurs de réservoirs, sont entre elles, à peu de chose près, comme les racines quarrées des hauteurs correspondantes de l'eau dans le réservoir au dessus des centres des mêmes ouvertures.* Comparez ensemble les résultats des 8e. & 10e. expériences, où les hauteurs des réservoirs sont 9 pieds & 4 pieds, dont les racines quarrées sont 3 & 2; & vous trouverez que les deux dépenses, 8135 pouces cubes & 5436 pouces cubes, que fait un même orifice de 1 pouce de diametre, sous 9 pieds & ensuite 4 pieds de charge, sont entre elles sensiblement dans le rapport de 3 à 2.

376. 3°. Qu'en général *les quantités d'eau dépensées, pendant le même temps, par différentes ouvertures, sous différentes hauteurs de*

réservoirs, sont entre elles en raison composée des aires des ouvertures & des racines quarrées des hauteurs des réservoirs.

377. 4°. Mais que *le frottement est cause que, de plusieurs orifices de figures semblables, les petits fournissent moins à proportion que les grands, sous une même hauteur d'eau dans le réservoir.* Parce que, comparativement à l'étendue de l'aire de chaque orifice, il y a plus de points frottans contre les bords de l'orifice dans les petits, qu'il n'y en a dans les grands; car les circonférences ne diminuent pas autant que les aires.

378. 5°. Que *de plusieurs orifices d'aires égales, celui dont le périmetre est le moindre, doit, à cause du frottement, fournir plus d'eau que les autres, sous une même hauteur de réservoir.* Ainsi les orifices circulaires sont, à cet égard, les plus avantageux de tous : car la circonférence du cercle est la plus courte de toutes les lignes qu'on peut choisir pour renfermer un espace donné. Il y a donc moins de surface frottante relativement à la grandeur de l'aire.

379. Il est aisé de voir que ces quantités d'eau dépensées dans les expériences ci-dessus (373), ne sont pas, à beaucoup près, aussi grandes qu'elles devroient l'être, vu l'étendue des aires des ouvertures, & les hauteurs des réservoirs : le frottement, & sur-tout la contraction de la veine

fluide (370) diminuent beaucoup la dépense; car la vîtesse qui est due à la hauteur entiere du fluide dans le réservoir, n'est pas sensiblement altérée. La différence de ces dépenses d'eau, en supposant, 1°. que l'aire de la veine fluide est la même que celle de l'orifice; 2°. que cette veine est contractée; cette différence, dis-je, est, à peu près, comme de 16 à 10; c'est-à-dire qu'en supposant l'aire de l'orifice diminuée dans le rapport de 16 à 10 (370), on pourra déterminer assez exactement les écoulemens des fluides qui sortent de vases entretenus également pleins. Nous donnerons ci-après (397) une table de ces différences.

380. On appelle un *pouce d'eau*, la quantité qu'en fournit un orifice circulaire & latéral de 1 pouce de diametre, la surface de l'eau étant entretenue constamment à 7 lignes au dessus du centre de cet orifice. C'est le cas de la 11°. expérience, où l'on voit que la quantité d'eau fournie est 628 pouces cubes qui font $13\frac{1}{12}$ pintes, chaque pinte contenant 48 pouces cubes, puisqu'il y a 36 pintes au pied cube. M. *Mariotte*, qui a fait la même expérience, a trouvé la dépense un peu plus forte; mais il est probable qu'il s'y est glissé quelque erreur; car la 11°. expérience que je viens de citer, a été faite avec le plus grand soin. Une pinte d'eau, au lieu de

peſer 2 livres, comme on le croit communément, ne peſe donc que 1 livre 15 onces 0 gros 64 grains.

Ecoulemens des Fluides ou Liqueurs par des tuyaux additionnels.

381. Lorſqu'au lieu de faire ſortir l'eau d'un vaſe par un orifice percé dans une mince paroi, on la fait ſortir par un bout de tuyau vertical additionnel, de même diametre que l'orifice, la dépenſe de l'eau eſt plus conſidérable, parce que la contraction de la veine fluide (370) eſt plus grande dans le premier cas que dans le ſecond, comme cela va être prouvé par expérience.

382. La hauteur conſtante de l'eau dans le réſervoir, au deſſus de la baſe ſupérieure du tuyau additionnel vertical, eſt de 11 pieds 8 pouces 10 lignes; & le diametre du tuyau eſt de 1 pouce.

383. *Hauteurs variables du tuyau exprimées en lignes.*		*Nombre de pouces cubes d'eau dépensés en 1 minute.*
EXPÉR. 1. 48 lig.	L'eau sortant à plein tuyau.	12274
2. 24		12188
3. 18		12168
4. 18	L'eau ne suivant pas les parois.	9282

384. On voit que plus ce tuyau vertical est long, plus la dépense est grande, parce que la contraction de la veine fluide est moindre; comme on le voit en comparant les trois premieres expériences : mais il y en a toujours une, quoique l'eau paroisse sortir à plein tuyau.

385. En comparant les quantités d'eau dépensées dans la troisieme & la quatrieme expérience, on voit que les deux dépenses, 12168 pouces cubes & 9282 pouces cubes, sont entre elles, à peu près, dans le rapport de 13 à 10. Or nous avons vu ci-dessus (370) que l'eau sortant par un orifice percé dans une mince paroi, si la veine fluide ne se contractoit point, la dépense par cet orifice seroit à la dépense par ce même orifice, la veine se contractant, environ comme 16 est à 10. On doit donc conclure de là, que *la hauteur de*

l'eau dans le réservoir & l'orifice de sortie étant les mêmes, la dépense par un orifice percé dans une mince paroi & dans lequel il n'y auroit pas de contraction de veine; la dépense par un bout de tuyau additionnel; & la dépense par un orifice percé dans une mince paroi, & dans lequel il y a contraction de veine, sont entre elles, à peu de chose près, comme les trois nombres 16, 13, 10. Ces rapports sont assez exacts pour la pratique.

386. Ceci prouve que les tuyaux additionnels ne détruisent qu'en partie la contraction de la veine fluide. La plus sensible de toutes, & que, par cette raison, on appelle *contraction de la premiere espece*, est celle qui a lieu au sortir d'un petit orifice percé dans une mince paroi d'un grand réservoir.

387. Si le tuyau additionnel, au lieu d'être vertical ou placé au fond du réservoir, étoit horizontal ou placé sur le côté du réservoir, il donneroit la même quantité d'eau, pourvu qu'il eût toujours la même longueur, & que l'orifice extérieur fût placé à la même profondeur au dessous de la surface de l'eau dans le réservoir.

388. Si le tuyau additionnel, au lieu d'être cylindrique, étoit conique, ayant sa plus grande base du côté du réservoir, il fourniroit une plus grande quantité d'eau. La forme la plus avantageuse qu'on peut lui donner, pour avoir la plus

grande quantité d'eau, dans un temps donné, par un orifice déterminé, eſt celle que prend naturellement la veine fluide, à la ſortie d'un orifice percé dans une mince paroi. C'eſt-à-dire qu'il faut donner à ce tuyau la forme d'un cône tronqué, dont la petite baſe ait pour diametre celui de l'orifice par lequel on déſire que ſe faſſe l'écoulement. Il faut de plus que l'aire de la petite baſe ſoit à l'aire de la grande, comme 10 eſt à 16; & que la diſtance d'une baſe à l'autre ſoit, à peu près, égale au demi-diametre de la grande baſe. Le reſte de la longueur du tuyau peut être cylindrique ou priſmatique. Alors l'écoulement ſera auſſi abondant que celui qui auroit lieu par un orifice égal à la petite baſe, percé dans une mince paroi, & dans lequel la veine fluide ne ſouffriroit aucune contraction.

389. Cette forme peut avoir ſon application à la pratique, lorſqu'il s'agit de dériver une certaine quantité d'eau d'une riviere, d'un aqueduc, &c. par un canal ou tuyau latéral.

390. Si l'on compare maintenant les écoulemens faits par des tuyaux additionnels de différens diametres, & ſous différentes hauteurs de réſervoirs, on a les réſultats ſuivans; les tuyaux additionnels ayant 2 pouces de long, & étant verticaux, ou placés au fond du réſervoir.

391.

391. *Hauteurs constantes de l'eau au dessus de l'orifice.*	*Diametres des tuyaux exprimés en lignes.*	*Nombres de pouces cubes fournis pendant 1 minute.*
EXPÉR. 1.	6	L'eau sortant à plein tuyau.	1689
2.	10		4703
3. 3 pieds 10 pouces ou 552 lignes.	6	L'eau ne suivant pas les parois.	1293
4.	10		3598
5.	6	L'eau sortant à plein tuyau.	1222
6.	10		3402
7. 2 pieds ou 288 lignes.	6	L'eau ne suivant pas les parois.	935
8.	10		2603

392. Il résulte de ces expériences, 1°. que *les dépenses par différens tuyaux additionnels, sous une même hauteur d'eau dans le réservoir, sont sensiblement proportionnelles aux aires des orifices ou aux quarrés de leurs diametres.*

393. 2°. Que *les dépenses par des tuyaux additionnels de même diametre, sous différentes hauteurs d'eau dans le réservoir, sont sensiblement proportionnelles aux racines quarrées des hauteurs des réservoirs.*

394. 3°. Qu'en général, *les dépenses faites, pendant le même temps, par différens tuyaux additionnels, sous différentes hauteurs d'eau dans le réservoir, sont entre elles, à peu de chose près, comme les produits des quarrés des diametres des*

tuyaux par les racines quarrées des hauteurs des réservoirs.

395. On voit par-là que les écoulemens par des tuyaux additionnels suivent entre eux les mêmes loix que ceux qui se font par des orifices percés dans de minces parois (374 *& suiv.*)

396. D'après toutes ces expériences, on peut former la table suivante des dépenses d'eau, par un orifice donné, percé dans une mince paroi, en supposant que la veine fluide ne souffrît aucune contraction; ou par le même orifice, avec contraction de veine; ou par le même orifice garni d'un tuyau additionnel.

397. *Hauteurs constantes de l'eau dans le réservoir au dessus de l'orifice, exprimées en pieds.*	*Dépenses d'eau pendant 1 minute, par un orifice de 1 pouce de diamètre, sans contraction de veine, exprimées en pouces cubes.*	*Dépenses d'eau pendant 1 minute, par un tuyau additionnel de 1 pouce de diamètre & 2 pouces de long, exprimées en pouces cubes.*	*Dépenses d'eau pendant 1 minute, par un orifice de 1 pouce de diamètre, avec contraction de veine, exprimées en pouces cubes.*
1	4381	3539	2722
2	6169	5002	3846
3	7589	6126	4710
4	8763	7070	5436
5	9797	7900	6075
6	10732	8654	6654
7	11592	9340	7183
8	12392	9975	7672
9	13144	10579	8135
10	13855	11151	8574
11	14530	11693	8990
12	15180	12205	9384
13	15797	12699	9764
14	16393	13197	10130
15	16968	13620	10472

Des Jets d'eau.

398. Quelle que soit la direction d'un jet, la dépense d'eau qu'il fait est toujours la même, pourvu que l'ajutage & la hauteur du réservoir au dessus de l'ajutage soient les mêmes. Cela est une suite nécessaire de la pression égale des fluides en tous sens (288).

399. L'eau, au sortir d'un ajutage quelconque très-petit, a une vîtesse capable de la faire re-

monter à la hauteur de la ſurface de l'eau dans le réſervoir (363) : ainſi les jets verticaux s'éleveroient, ſi rien ne les en empêchoit, à la hauteur entiere de leurs réſervoirs.

Pluſieurs cauſes concourent à diminuer l'élévation des jets verticaux : 1°. le frottement dans les tuyaux depuis le réſervoir juſqu'à l'ajutage (434) : 2°. le frottement contre le circuit de l'orifice : 3°. la réſiſtance que l'air oppoſe au mouvement de la colonne : 4°. le poids des particules d'eau qui, en montant, ont perdu toute leur vîteſſe, & qui retombent ſur celles qui montent encore. Car en inclinant un peu le jet, il s'éleve un peu plus haut que quand il eſt exactement vertical. Mais, dans ce cas-là, il ne produiroit pas un effet auſſi agréable aux yeux, que lorſque la gerbe retombe perpendiculairement ſur elle-même.

400. Lorſque l'ajutage ſe dirige obliquement à l'horizon, la force de projection & la peſanteur de l'eau font que le jet décrit ſenſiblement une parabole (275), dont l'amplitude eſt d'autant plus grande, que la hauteur du réſervoir eſt plus conſidérable ; car elle y eſt proportionnelle.

401. Lorſque l'ajutage ſe dirige horizontalement, le jet décrit une demi-parabole.

402. Les jets d'eau s'élevent d'autant plus haut, que les ouvertures des ajutages ſont plus grandes ;

parce que de deux jets d'eau qui, venant du même réservoir, sortent de leurs ajutages avec des vîtesses égales, le plus gros, 1°. éprouve moins de frottemens, 2°. a plus de masse, & par conséquent plus de force pour vaincre les obstacles. Mais quoique les gros jets s'élevent plus haut que les petits, ils ne dépensent cependant pas plus d'eau à proportion que ces derniers : car la dépense est comme le produit de l'ouverture de l'ajutage par la vîtesse au sortir de l'ajutage (364); & cette vîtesse est sensiblement la même pour l'un & pour l'autre, abstraction faite des frottemens.

403. Pour que les gros jets s'élevent plus haut que les petits, il faut cependant que les tuyaux de conduite soient assez gros pour fournir les eaux avec une abondance suffisante; car s'ils sont fort étroits, l'expérience prouve que les petits jets s'élevent plus que les gros. Il faut donc que le diametre du tuyau de conduite ait une certaine grandeur par rapport à celle de l'ajutage, pour que le jet s'éleve à la plus grande hauteur où il puisse atteindre. Si donc l'on compare deux jets d'eau différens, & que l'on veuille que chacun s'éleve à sa plus grande hauteur, il faut que *les quarrés des diametres des tuyaux de conduite soient entre eux en raison composée des quarrés des diametres des ajutages & des racines quarrées des*

hauteurs des réservoirs. Ainsi, si l'on connoît par expérience le diametre que doit avoir un tuyau de conduite, pour fournir à la dépense d'un ajutage donné, sous une hauteur donnée de réservoir, on déterminera le diametre de tout autre tuyau, pour fournir à un autre ajutage donné, sous une hauteur donnée de réservoir.

404. L'expérience a appris que, pour un ajutage de 6 lignes de diametre, & sous une hauteur de réservoir de 52 pieds, le diametre du tuyau de conduite doit être d'environ 39 lignes; & que, pour un ajutage de 6 lignes de diametre, & sous une hauteur de réservoir de 16 pieds, le diametre du tuyau de conduite doit être d'environ $28\frac{1}{2}$ lignes. Il n'y a aucun inconvénient à donner au tuyau de conduite un diametre plus grand que ne l'exige la regle ci-dessus; & il y en auroit un à lui en donner un plus petit.

405. On fait quelquefois les ajutages en forme de cônes ou de cylindres: on a tort. Les ajutages cylindriques sont les plus désavantageux de tous. Les ajutages qui procurent le plus d'élévation aux jets, sont ceux qui sont percés dans la platine horizontale qui ferme l'extrémité du tuyau. Il faut que cette platine soit bien polie, mince, d'une épaisseur uniforme, & percée perpendiculairement.

406. Il résulte de la comparaison de plusieurs

expériences faites sur les jets d'eau, que *les différences des hauteurs des jets verticaux, aux hauteurs de leurs réservoirs, sont entre elles sensiblement comme les quarrés des hauteurs des jets.* Si donc l'on connoît par expérience la quantité dont il s'en faut qu'un jet s'éleve à la hauteur de son réservoir, on connoîtra par une simple proportion, la quantité dont il s'en faudra que tout autre jet de hauteur donnée s'éleve à la hauteur de son réservoir. Si l'on veut connoître la hauteur du réservoir, on n'aura qu'à ajouter à la hauteur du jet la quantité trouvée par la proportion.

407. Lorsqu'on est obligé de couder les tuyaux de conduite, il faut éviter, autant qu'on peut, de les couder à angle droit; car le choc du courant, contre ces sortes d'angles, détruit une partie de la vîtesse, & fatigue beaucoup le tuyau de conduite.

408. Nous ajoutons ici une table, pour faciliter l'application des principes que nous venons d'établir.

On trouve dans les deux premieres colonnes les hauteurs des jets & les hauteurs correspondantes des réservoirs. La troisieme colonne contient, en pintes de Paris, dont 36 forment le pied cube, les dépenses pendant 1 minute par un ajutage de 6 lignes de diametre, relativement

aux hauteurs de la seconde colonne. Connoissant les dépenses par un ajutage de 6 lignes, une simple proportion fera connoître les dépenses par tout autre ajutage sous même hauteur dans le réservoir ; puisqu'il a été prouvé (374) que les dépenses sont alors entre elles comme les aires des ajutages, ou comme les quarrés des diametres de ces ajutages. Dans la quatrieme colonne on trouve les diametres que doivent avoir les tuyaux de conduite pour un ajutage de 6 lignes de diametre, relativement aux hauteurs de la seconde colonne. On connoîtra les diametres des tuyaux de conduite pour d'autres ajutages & d'autres hauteurs de réservoir, en suivant la regle établie ci-dessus (403).

Nota. Relativement aux deux dernieres colonnes, on a négligé les fractions dans le calcul.

409. *Hauteurs des jets exprimées en pieds.*	*Hauteurs des réservoirs exprimées en pieds & pouc.*		*Dépenses en 1 minute par un ajutage de 6 lignes de diametre, exprimées en pintes de Paris.*	*Diametres des tuyaux de conduite relatifs aux 2e. & 3e. colonnes, exprimées en lignes.*
5 pieds	5 pi.	1 po.	32 pintes.	21 lignes.
10	10	4	45	26
15	15	9	56	28
20	21	4	65	31
25	27	1	73	33
30	33	0	81	34
35	39	1	88	36
40	45	4	95	37
45	51	9	101	38
50	58	4	108	39
55	65	1	114	40
60	72	0	120	41
65	79	1	125	42
70	86	4	131	43
75	93	9	136	44
80	101	4	142	45
85	109	1	147	46
90	117	0	152	47
95	125	1	158	48
100	133	4	163	49

Des Pompes.

410. Les pompes sont des machines hydrauliques destinées à élever de l'eau. Elles sont composées de cylindres creux AB (*fig.* 51.) ou EF (*fig.* 53.) intérieurement bien alaisés, & d'un diametre bien égal dans toute leur longueur, que l'on appelle *corps de pompe*, dans lesquels on *Fig.* 51. *Fig.* 53.

fait gliſſer un bouchon I, appelé *piſton*, que l'on met en jeu par le moyen d'une tige de métal Xx, à l'extrémité X de laquelle on adapte le moteur, à l'aide d'un levier XY, ou de quelque autre machine: à cela on joint un tuyau montant AT (*fig.* 51.), pour conduire l'eau à la hauteur qu'on déſire; & enfin des clapets ou ſoupapes S, *s*. *Fig.* 51.

411. Il y a pluſieurs eſpeces de pompes. Les unes ſont foulantes; les autres ſont aſpirantes: & il y en a qui ſont tout à la fois aſpirantes & foulantes.

412. Il y a deux manieres de conſtruire les pompes foulantes. Dans les unes (*fig.* 51.), la colonne d'eau qu'on éleve, repoſe ſur le piſton que l'on tire: dans les autres (*fig.* 52.), la colonne d'eau réſiſte au piſton que l'on pouſſe. Les premieres peuvent être appelées *pompes foulantes ſoulevantes*; & les ſecondes, *pompes foulantes repouſſantes*. *Fig.* 51. *Fig.* 52.

413. La pompe foulante ſoulevante (*fig.* 51.) eſt compoſée d'un corps de pompe AB, à la partie inférieure duquel eſt placé un bout de tuyau BN, ouvert par le bas, ou mieux encore, percé de trous dans toute ſa longueur, de maniere que les ordures groſſieres ne puiſſent arriver juſqu'au corps de pompe. A la réunion de ce bout de tuyau avec le corps de pompe, eſt une *Fig.* 51.

soupape *s*, qui, en se soulevant, permet à l'eau d'entrer dans le corps de pompe, mais qui, ensuite en s'abaissant, ne lui permet pas d'en sortir. Dans ce corps de pompe est un piston I, percé de part en part, garni dans sa partie supérieure d'une soupape S, & surmonté d'une fourchette *x*, par laquelle il est joint, au moyen d'une tête fendue comme celle d'un compas, à la tige *x*X qui le met en jeu, à l'aide du levier du premier genre (477) XZY, qui a son point d'appui en Z. A la partie supérieure A du corps de pompe, est adapté le tuyau montant AT, qui a son tuyau de décharge en T. Cette pompe doit être assujettie d'une maniere quelconque dans le puits ou bassin, de façon que le corps de pompe AB soit tout entier au dessous de la surface de l'eau A A.

414. Maintenant, si l'on souleve le piston I en abaissant l'extrémité Y du levier YZX, de maniere que ce levier se trouve dans la position *y*Z*u*, ce piston s'élevera dans le corps de pompe AB d'une quantité égale à X*u*; pendant lequel temps, la soupape *s* se soulevant, l'eau passera du bassin dans la pompe, par la pression de l'eau extérieure (288). Que l'on abaisse ensuite le piston, cette pression fait fermer la soupape *s* & soulever la soupape S. Par-là, l'eau qui étoit au dessous du piston, se trouve par-dessus, & presse la soupape S contre son

trou ; ce qui l'empêche de repaſſer par-deſſous, lorſqu'on ſouleve de nouveau le piſton. Un ſecond coup de piſton élevera donc cette quantité d'eau, & permettra, par le même mécaniſme, à une nouvelle quantité de paſſer dans la pompe, & enſuite au deſſus du piſton, comme a fait la premiere : de ſorte que, par un certain nombre de coups de piſton, on parviendra à remplir le tuyau montant AT. Alors il ſortira à chaque coups de piſton, par le tuyau de décharge T, une maſſe d'eau égale à un cylindre qui aura pour baſe la largeur du piſton, & pour longueur le chemin que le piſton parcourra dans le corps de pompe. C'eſt ce chemin parcouru que l'on appelle *jeu du piſton.*

415. Il eſt aiſé de ſavoir quel eſt le poids de la colonne d'eau dont le piſton eſt chargé, lorſque le tuyau montant eſt plein ; & en conſéquence quelle eſt la force qu'il faut faire agir en Y pour faire jouer la pompe. Nous avons prouvé ci-deſſus (294) que *les liqueurs peſent en raiſon de leur hauteur perpendiculaire, & de la largeur de la baſe qui s'oppoſe à leur chûte.* Dans une pompe, cette baſe eſt le piſton, & la hauteur perpendiculaire eſt celle du tuyau montant au deſſus de la ſurface de l'eau. Ainſi, quand le tuyau montant eſt plein, la charge ſur le piſton eſt égale au poids d'un cylindre d'eau qui auroit

pour diametre celui du piſton ; & pour hauteur, celle du tuyau montant au deſſus de la ſurface de l'eau, quel que ſoit le diametre du tuyau montant : ce qui eſt aiſé à calculer, lorſqu'on ſait qu'un cylindre d'eau d'un pied de diametre & d'un pied de haut, peſe 55 livres.

416. Il ſuit de là, qu'on ne diminue point le poids de la colonne d'eau, en diminuant le diametre du tuyau montant. On augmente même par-là la réſiſtance qu'il faut vaincre, à cauſe de l'augmentation des frottemens, qui ſont plus conſidérables dans les petits tuyaux que dans les gros (105) ; parce que les ſurfaces relatives augmentent, comme les diametres diminuent. Auſſi, ſi ce n'étoit pas pour épargner la dépenſe, on auroit grand tort de faire, comme cela eſt cependant d'uſage, les tuyaux montans plus petits que le corps de pompe. Il vaudroit mieux leur donner un diametre un peu plus grand que celui du corps de pompe : alors la colonne d'eau qu'on éleve, gliſſeroit dans un tuyau d'eau, & n'éprouveroit par conſéquent que des frottemens de la ſeconde eſpece (97).

417. La pompe foulante repouſſante eſt compoſée d'un corps de pompe CD (*fig.* 52), tout-à-fait fermé par le bas, entiérement ouvert par le haut, & dans lequel eſt un piſton K, qui ne differe de celui de la précédente pompe (413) qu'en ce que ſa ſoupape S eſt placée à ſa partie infé- *Fig.* 52.

rieure. Ce piston, ainsi que celui de la pompe précédente, se met en jeu à l'aide d'un levier YXZ, mais du second genre (477), & qui a son point d'appui en Z. Son tuyau montant DO est placé à côté du corps de pompe, avec lequel il communique, & est garni d'une soupape *s* dans sa partie inférieure, & d'un tuyau de décharge O à sa partie supérieure. Cette pompe, ainsi que la précédente, doit être assujettie dans le puits ou bassin, de façon que le corps de pompe CD soit tout entier au dessous de la surface de l'eau AA.

418. L'eau remplit le corps de pompe, en tombant par l'ouverture C & passant au travers du piston K, dont la soupape S, vu sa position, se trouve naturellement ouverte. Si l'on vient à abaisser le piston K, en amenant le levier YXZ dans la situation *yu*Z, la résistance de l'eau contre la soupape S la ferme aussi-tôt. Cette eau ne pouvant donc pas repasser au dessus du piston, est obligée d'enfiler le tuyau montant DO, en soulevant la soupape *s*. Si-tôt qu'on releve le piston, la soupape *s* se ferme par la pression de l'eau qui est au dessus; & la soupape S s'ouvre, en retombant par son propre poids. Il passe donc une nouvelle masse d'eau au dessous du piston, qui, par un second abaissement du même piston, est contrainte de passer, comme la premiere, dans le

tuyau montant. De sorte que, par un certain nombre de coups de piston, on parvient à remplir le tuyau montant D O. Alors tout se passe comme dans la précédente pompe. Si dans l'une & dans l'autre le piston est de même diametre, & si les tuyaux montans sont de la même hauteur perpendiculaire, les poids des deux colonnes d'eau sont égaux ; & ces deux pompes exigent la même force motrice pour être mises en jeu ; car, dans ce cas-là, c'est la même chose, quant à cette force, ou qu'elle ait à élever le piston chargé de la colonne d'eau, ou qu'elle ait à pousser la colonne d'eau avec le piston.

419. La pompe aspirante (*fig.* 53.) est composée d'un corps de pompe E F, ouvert par le haut, & à la partie inférieure duquel est adapté le tuyau d'aspiration F P. A la réunion de ce tuyau avec le corps de pompe, est une soupape *s*, destinée à permettre, en se soulevant, à l'eau d'entrer du tuyau d'aspiration P F dans le corps de pompe F E; & à l'empêcher, en s'abaissant, d'en sortir par la même voie. Dans le corps de pompe est un piston L, tout-à-fait pareil à celui I (*fig.* 51.) de la premiere espece de pompe foulante, dont nous avons parlé ci-dessus (413), & qui se met en jeu de la même façon, & à l'aide d'un levier X Z Y (*fig.* 53.) du même genre. Cette pompe doit être assujettie de façon qu'il n'y ait que *Fig.* 53. *Fig.* 51. *Fig.* 53.

l'extrémité inférieure du tuyau d'aſpiration F P qui plonge dans l'eau.

420. Dans le moment de l'inaction de la pompe, les deux ſoupapes S & *s* ſont naturellement fermées par leur propre poids. Si l'on vient à ſoulever le piſton L, en amenant le levier X Z Y dans la ſituation *u Zy*, on ſouleve la colonne d'air qui repoſe deſſus ; & l'air qui eſt renfermé dans le tuyau d'aſpiration, depuis la ſurface de l'eau *a* juſqu'au piſton, ayant alors plus de place à occuper, devient plus rare que l'air extérieur. Ce dernier preſſe donc avec avantage ſur la ſurface de l'eau *a*, & l'oblige à monter dans le tuyau d'aſpiration, juſqu'à ce que l'air intérieur ait repris ſa premiere denſité, en occupant moins de place. De ſorte qu'après quelques coups de piſton, l'eau arrive au corps de pompe, & paſſe au travers du piſton, en ſoulevant les ſoupapes *s* & S l'une après l'autre ; lequel piſton, en s'élevant, oblige l'eau de s'échapper par le tuyau de décharge E.

421. Comme c'eſt la preſſion de l'air qui fait monter l'eau dans cette pompe, & que cette preſſion ne peut ſoutenir une colonne d'eau que d'environ 32 pieds (301), il eſt clair que le tuyau d'aſpiration ne doit pas avoir plus de longueur. Dans l'uſage ordinaire, on ne lui donne pas même 32 pieds. Pour que la preſſion de l'air pût ſoutenir une colonne d'eau de cette hauteur, il faudroit

faudroit, 1°. que la pompe aſpirante fût faite avec la plus grande exactitude, & demeurât toujours telle; 2°. qu'elle fût placée au niveau de la mer, ou à peu près, parce que c'eſt là où la preſſion de l'air eſt la plus forte; 3°. que la preſſion de l'air ne variât point. Or le plus ſouvent ces données n'ont pas lieu. On ſe contente donc aſſez ordinairement de donner au tuyau d'aſpiration 23 ou 24 pieds. Si l'on a à élever l'eau à une plus grande hauteur, il faut ſe ſervir de la pompe foulante. Il eſt vrai que l'uſage de cette derniere eſt ſujet à bien des inconvéniens. On eſt obligé de placer ſon corps de pompe dans le puits ou dans le baſſin: & lorſqu'il y a à y travailler, ce qui n'arrive que trop ſouvent, il faut de deux choſes l'une; ou vider le puits ou le baſſin, ou en retirer le corps de pompe: ce qui eſt très-incommode & très-couteux. Pour éviter ces inconvéniens, ce qu'il y a à faire de mieux en pareil cas, c'eſt de rendre la pompe tout-à-la-fois aſpirante & foulante, comme nous le verrons ci-après (425).

422. En 1766, on prétendit & l'on fit mettre dans les Papiers publics, qu'on avoit fait, à Séville en Eſpagne, une pompe ſimplement aſpirante, qui élevoit l'eau à 60 pieds; & l'on conclut en conſéquence, que juſqu'alors on s'étoit lourdement trompé, en diſant que la preſſion de l'air ne pouvoit ſoutenir une colonne d'eau que de 32 pieds.

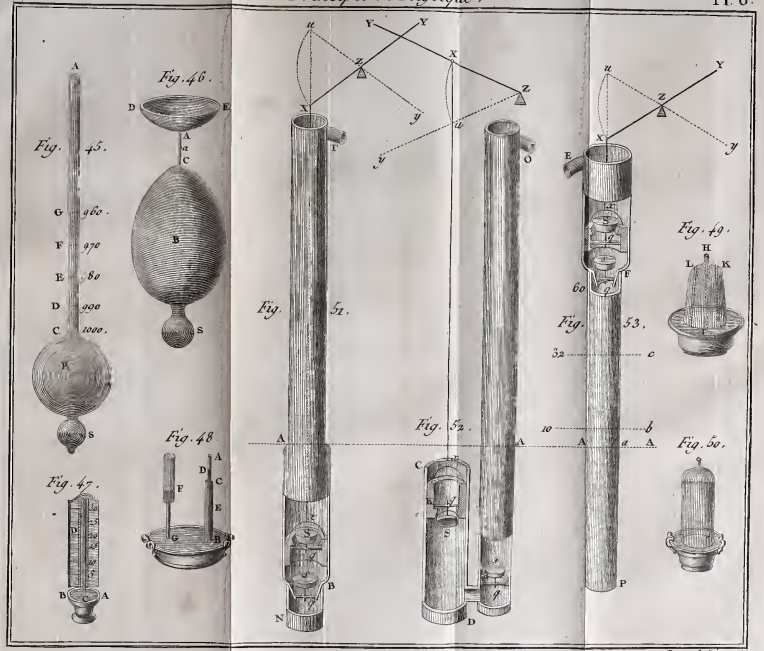
Voyons jusqu'à quel point cette prétention étoit fondée. Un Ferblantier peu instruit, construisit effectivement, à Séville, une pompe aspirante, au tuyau d'aspiration de laquelle il donna 60 pieds de longueur, parce qu'il avoit besoin d'élever l'eau à cette hauteur. Sa pompe en place, il la mit en jeu, & ne put jamais parvenir à faire arriver l'eau au corps de pompe. Soit impatience ou colere, il donna un coup de hache, & fit une petite ouverture au tuyau d'aspiration à environ 10 pieds au dessus de la surface de l'eau du bassin. Aussi-tôt il arriva une petite portion d'eau au corps de pompe. C'est d'après ce procédé qu'on a prétendu avoir fait une pompe aspirante, qui élevoit l'eau à 60 pieds. Le Lecteur peut juger cette prétention.

423. Supposons donc que le tuyau d'aspiration PF a, depuis *a*, surface de l'eau du bassin, jusqu'en F, 60 pieds de hauteur; & qu'après un certain nombre de coups de piston, on est parvenu à faire monter l'eau jusqu'en *c* à 32 pieds de hauteur. Si l'on fait alors un petit trou en *b* à 10 pieds au dessus de la surface de l'eau, l'air qui entre par ce petit trou, & qui exerce sa pression en toutes sortes de sens (301), fait tomber dans le bassin la colonne d'eau de 10 pieds qui est au dessous de *b*; & la pression que l'air exerce en *b* de bas en haut, n'a plus affaire qu'à une colonne d'eau de 22 pieds. Elle pourroit donc porter cette colonne, non pas

seulement à 60 pieds, mais à plus de 8000 pieds de hauteur. Car l'air, pris vers la surface de la terre, est plus de 800 fois moins dense que l'eau (885); & en supposant (ce qui n'est pas) que sa densité ne fût pas en diminuant, à mesure qu'on s'éleve, les 10 pieds d'eau retranchés équivaudroient donc à plus de 8000 pieds d'air. La colonne d'air qui presseroit en *b*, seroit donc trop forte de plus de 8000 pieds. Ainsi les 22 pieds d'eau restans ne seroient en équilibre avec la colonne d'air, qu'après être montés à plus de 8000 pieds. Pour avoir une seconde portion d'eau avec une pareille pompe, il faudroit commencer par boucher le trou qu'on auroit fait en *b*; ensuite donner plusieurs coups de piston, pour élever l'eau jusqu'en *c*; & enfin venir rouvrir le trou en *b*. Regardera-t-on ce procédé bien simple? & pour avoir une si petite quantité d'eau. Encore faudroit-il que le tuyau d'aspiration fût d'un petit diametre; sans quoi la colonne d'eau se déchireroit, l'air passeroit au travers, & il ne monteroit pas une goutte d'eau au corps de pompe. Pour annoncer fausse une opinion universellement reçue, il faut, pour le moins, y penser à deux fois.

424. Fort peu de temps après, le S^r. *Bellangé*, Orfévre-Bijoutier, demeurant à la Place Dauphine, à Paris, imita la pompe de Séville, & lui donna de plus la propriété de fournir de l'eau à 55 pieds

de hauteur par un jet continu, quoiqu'elle ne fût que ſimplement aſpirante. Voici comment il s'y prit. A un petit corps de pompe de 25 lignes de diametre intérieur, & dont le piſton avoit 8 pouces de jeu, il adapta un tuyau d'aſpiration de 10 lignes de diametre & de 56 pieds de longueur : ce tuyau étoit garni d'une ſoupape à ſa jonction avec le corps de pompe, & d'une autre à ſon extrémité inférieure. Cette extrémité plongeoit dans un tonneau plein d'eau. Le S^r. *Bellangé* avoit fait à ce tuyau un petit trou d'environ $\frac{1}{2}$ ligne de diametre, à 12 ou 15 pouces au deſſus de la ſurface de l'eau du tonneau. Le tout ainſi diſpoſé, s'il faiſoit mouvoir le piſton lentement, il ne montoit point d'eau : le petit trou fourniſſoit aſſez d'air pour remplir le tuyau d'aſpiration. Mais s'il faiſoit jouer le piſton avec beaucoup de vîteſſe, le petit trou ne pouvant pas, en ſi peu de temps, fournir aſſez d'air pour remplir le tuyau, il montoit un peu d'eau qui ſe mêloit à l'air : de ſorte que la colonne ſe trouvoit compoſée de petits cylindres alternativement d'air & d'eau ; & quoiqu'elle eût 55 pieds de hauteur, il s'en falloit de beaucoup qu'elle peſât autant que peſeroit une colonne d'eau continue de 32 pieds de haut. Auſſi, ayant calculé, d'après le diametre du corps de pompe, & l'étendue du jeu du piſton, la quantité d'eau que cette pompe auroit dû fournir, s'il



Benard Direxit.

n'étoit point passé d'air, & ayant comparé cette quantité à celle qu'elle nous fournit réellement, je trouvai cette dernière de beaucoup inférieure. Car, en 6 minutes de temps, on donna 530 coups de piston, qui ne fournirent que 36 pintes d'eau; ils en auroient dû fournir plus de 292 pintes. Cette pompe ne nous fournit donc pas la huitieme partie de l'eau qu'elle auroit dû nous fournir. Ainsi, quoiqu'elle paroisse mieux conçue, elle ne vaut pas mieux que celle de Séville.

425. La pompe aspirante & foulante est composée d'un corps de pompe GH (*fig.* 54.), ouvert par le haut, & à la partie inférieure duquel est adapté le tuyau d'aspiration HV. A la réunion de ce tuyau avec le corps de pompe, est une soupape S, destinée au même usage que dans la pompe simplement aspirante (419). Dans le corps de pompe est un piston M, non pas percé comme les précédens, mais plein, & qui est mis en jeu à l'aide de la tige xX, & d'un levier YXZ du second genre (477), qui a son point d'appui en Z. A côté du corps de pompe, & vers le bas, est adapté un tuyau montant HR, garni d'une soupape s dans sa partie inférieure, & d'un tuyau de décharge R dans sa partie supérieure. Cette pompe doit être assujettie de façon qu'il n'y ait que l'extrémité inférieure du tuyau d'aspiration HV qui plonge dans l'eau. *Fig.* 54.

426. Il eſt aiſé de voir que la premiere action de cette pompe eſt d'être aſpirante, comme celle dont nous avons parlé ci-deſſus (419). Car ſi l'on ſouleve le piſton M, en amenant le levier YXZ dans la ſituation yuZ, on ſouleve la colonne d'air qui repoſe deſſus : l'air qui eſt dans le tuyau d'aſpiration, devient par-là plus rare que l'air extérieur. Ce dernier preſſe donc avec avantage ſur la ſurface de l'eau AA, & la porte, après quelques coups de piſton, juſque dans le corps de pompe. Arrivée là, ſi l'on abaiſſe le piſton M, la ſoupape S ſe ferme, & l'eau eſt contrainte d'enfiler le tuyau montant HR, en ſoulevant la ſoupape s; laquelle, ſi-tôt que la preſſion ceſſe, retombe par ſon poids & celui de l'eau qui eſt au deſſus. On voit donc que le piſton aſpire en montant, & foule en deſcendant.

427. Cette pompe eſt très-commode, en ce que ſon corps de pompe étant placé hors de l'eau, on peut y faire aiſément les réparations néceſſaires ; & en ce qu'on peut, par ſon moyen, porter l'eau à telle hauteur que l'on veut ; il ne s'agit pour cela que de donner plus de longueur au tuyau montant, & augmenter la force qui doit mettre la pompe en jeu.

428. On peut mettre dans le genre de la précédente (425) la pompe d'incendie, qui non ſeulement eſt tout à la fois aſpirante & foulante,

mais dont le jet est continu, quoiqu'elle n'ait qu'un corps. Cette pompe est, pour l'essentiel, composée comme la pompe aspirante & foulante (*fig.* 54.), dont nous venons de parler (425); avec cette différence que son tuyau d'aspiration est beaucoup plus court; & qu'au lieu de tuyau montant solide, elle porte un tuyau de cuir, auquel on donne une longueur convenable. Cette pompe (*fig.* 55.) est donc composée d'un corps de pompe GH, ouvert par le haut, & à la partie inférieure duquel est adapté le tuyau d'aspiration HT. A la réunion de ce tuyau avec le corps de pompe, est une soupape S, destinée à empêcher que l'eau, une fois passée dans le corps de pompe, retourne dans le bassin. Dans ce corps de pompe est un piston M, non pas percé, mais plein, & qui est mis en jeu à l'aide de la tige de métal *x*X, & d'un levier du second genre (477) YXZ, qui a son point d'appui en Z. Vers le bas du corps de pompe & sur le côté, est un trou C que l'on recouvre d'un clapet *cl*, dont la queue *l* est à ressort, & attachée avec une petite vis. Ce clapet est destiné à empêcher que l'eau, sortie du corps de pompe, puisse y rentrer, lorsqu'on soulève le piston M. Le corps de pompe GH est enveloppé de toutes parts d'un tuyau ABDE, d'un diametre de 2 ou 3 pouces plus grand que celui du corps de pompe; & l'intervalle qui

Fig. 54.

Fig. 55.

demeure entre l'un & l'autre, eſt rempli d'air. A la partie inférieure de ce tuyau & ſur le côté, eſt adapté un autre petit tuyau coudé E R, garni à ſon bout R d'une ſoupape *s* & d'une virole à vis, deſtinée à recevoir un écrou, par le moyen duquel on joint, à ce bout de tuyau, le tuyau de cuir dont nous avons parlé ci-deſſus, & qui tient lieu de tuyau montant. Tout cet aſſemblage eſt placé comme on le voit en P (*fig.* 56.), ſur une caiſſe N O doublée de plomb, qui contient l'eau, & ſerré de haut en bas entre le couvercle L de la caiſſe & une traverſe Q, au travers de laquelle paſſe le bout ſupérieur F (*fig.* 55.) du corps de pompe, qui pour cela eſt d'un plus petit diametre que le reſte. Le couvercle L (*fig.* 56) de la caiſſe eſt auſſi percé à ſon milieu, pour laiſſer paſſer le tuyau d'aſpiration H T (*fig.* 55.)

Fig. 56. *Fig.* 55. *Fig.* 56. *Fig.* 55.

429. On voit maintenant que, ſi l'on ſouleve le piſton M, en amenant le levier Y X Z dans la ſituation *y u* Z, la ſoupape *s* & le clapet *c*, placé en C, ſe trouvent ſerrés contre leurs trous par la preſſion de l'air extérieur. Cette même preſſion, agiſſant ſur la ſurface de l'eau V V, l'oblige de paſſer dans le corps de pompe, en ſoulevant la ſoupape S. La pompe eſt donc alors aſpirante. Mais lorſqu'on abaiſſe le piſton M, la preſſion que cela cauſe, ferme la ſoupape S, & ouvre le clapet qui eſt en C : l'eau paſſe donc alors, non ſeulement

dans le tuyau de cuir *a b d* (*fig.* 56.) en soulevant la soupape *s* (*fig.* 55.), mais encore dans l'intervalle qui se trouve entre le corps de pompe & le tuyau qui l'enveloppe, en montant vers IK, & y comprimant l'air qui y est renfermé. Si-tôt qu'on souleve de nouveau le piston M, cet air n'étant plus soumis à la pression qu'il éprouvoit, se développe par son ressort, agit sur l'eau qui est entre le corps de pompe & le tuyau qui l'enveloppe, & la pousse dans le tuyau de cuir : de sorte que, lorsqu'on abaisse le piston, l'eau est poussée par le piston lui-même ; & lorsqu'on le souleve, l'eau est poussée par le ressort de l'air (905) : ce qui rend le jet continu, quoiqu'il n'y ait qu'un corps de pompe. *Fig.* 56. *Fig.* 55.

430. La continuité du jet est nécessaire dans les incendies. On l'obtient avec cette pompe, en employant le ressort de l'air dans le moment où l'on souleve le piston. Il est vrai qu'il faut alors, pour faire jouer la pompe, une force double ; savoir, une force capable de pousser la colonne d'eau, & une force pareille pour comprimer l'air. Mais ce n'est point un inconvénient ; car, dans le cas d'incendie, on manque rarement de bras : il n'y en a souvent que trop.

431. On emploie, pour mouvoir les pompes, toutes sortes d'agens, comme des hommes, des chevaux, des courans d'eau, l'action du vent, &c.

Les petites machines de ce genre, telles que les pompes à puits ou à incendies, ſont ordinairement mues à bras d'hommes. Lorſqu'on a à élever une quantité conſidérable d'eau, on augmente à proportion la force motrice : & pour qu'elle exerce continuellement le même effort, du moins à peu près, ſans reſter jamais oiſive, on établit pluſieurs équipages de pompes ; de maniere que lorſqu'une partie des piſtons deſcend, l'autre monte. C'eſt ainſi qu'on l'a pratiqué à la Machine de Marli.

432. Tout le jeu de ces machines dépend de la régularité du mouvement alternatif des ſoupapes ou des clapets. Il faut donc que ces pieces ſoient tellement conſtruites & diſpoſées, qu'elles tiennent bien l'eau, quand elles ſont fermées, & qu'elles s'ouvrent facilement quand elles doivent le faire.

433. On emploie auſſi quelquefois, pour mettre des pompes en jeu, l'action de l'eau réduite en vapeur par l'action du feu ; & c'eſt ce qu'on appelle *pompes à feu*, qui ſont des machines hydrauliques, propres à élever une grande quantité d'eau à une grande hauteur. Nous en parlerons ci-après (1067) en traitant de l'eau comme vapeur ; & en faiſant connoître les efforts énormes dont eſt capable ce fluide élaſtique.

Mouvemens des Eaux dans les Tuyaux de conduite.

434. Lorſqu'on veut conduire de l'eau d'un endroit à un autre, il eſt clair qu'il faut des tuyaux de conduite d'autant plus longs, que l'endroit d'où l'eau part & celui où elle doit arriver ſont plus diſtans l'un de l'autre. Dans les tuyaux additionnels, dont nous avons parlé ci-deſſus (*381 & ſuivant.*), nous avons peu tenu compte de la réſiſtance des frottemens, parce qu'elle y eſt peu ſenſible. Il n'en eſt pas de même dans les longs tuyaux : le frottement de l'eau contre leurs parois, ralentit conſidérablement la vîteſſe, comme le prouve l'expérience. Suppoſons d'abord les tuyaux rectilignes.

435. Dans ces expériences, on s'eſt ſervi de deux tuyaux, dont l'un avoit 16 lignes de diamètre intérieur, & l'autre 2 pouces. On a alongé ſucceſſivement les deux tuyaux, depuis 30 pieds juſqu'à 180. Et la hauteur conſtante de l'eau dans le réſervoir, au deſſus de l'axe de chaque tuyau, a été tantôt de 1 pied, tantôt de 2 pieds.

436. On voit dans la table ſuivante les réſultats de toutes ces expériences.

Hauteur constante de l'eau dans le réservoir au dessus de l'axe du tuyau, exprimée en pieds.	*Distance des points où l'on a reçu l'eau au point où on l'a prise, exprimée en pieds.*	*Nombre de pouces cubes d'eau fournis en 1 minute par le tuyau de 16 lignes de diametre.*	*Nombre de pouces cubes d'eau fournis en 1 minute par le tuyau de 2 pouces de diametre.*
1	30	2778	7680
1	60	1957	5564
1	90	1587	4534
1	120	1351	3944
1	150	1178	3486
1	180	1052	3119
2	30	4066	11219
2	60	2888	8190
2	90	2352	6812
2	120	2011	5885
2	150	1762	5232
2	180	1583	4710

437. Si, au moyen de la table ci-dessus (397), on cherche les dépenses de deux bouts de tuyaux additionnels, de 16 lignes & de 2 pouces de diametre, sous mêmes hauteurs de réservoir, & sans avoir égard aux frottemens, mais seulement aux aires des orifices des tuyaux, on trouve que, pendant 1 minute,

1°. La hauteur du réservoir étant de 1 pied, le tuyau de 16 lignes de diametre fourniroit 6292 pouces cubes d'eau.

2°. La hauteur du réservoir étant de 2 pieds, le même tuyau fourniroit 8893 pouces cubes d'eau.

3°. La hauteur du réſervoir étant de 1 pied, le tuyau de 2 pouces de diametre fourniroit 14156 pouces cubes d'eau.

4°. La hauteur du réſervoir étant de 2 pieds, le même tuyau fourniroit 20008 pouces cubes d'eau.

On voit que ces dépenſes d'eau ſont beaucoup plus grandes que leurs correſpondantes dans la table précédente ; & que la dépenſe de chaque tuyau diminue d'autant plus que ce tuyau eſt plus long, parce qu'alors il y a plus de ſurfaces frottantes.

438. Mais on peut remarquer auſſi que la diminution de la dépenſe n'eſt pas en proportion de l'alongement du tuyau : cette dépenſe diminue à meſure qu'on alonge le tuyau, mais par des quantités qui décroiſſent ; car les premiers 30 pieds diminuent beaucoup plus la dépenſe que ne le font les ſeconds 30 pieds ; & le troiſieme alongement de 30 pieds diminue encore moins la dépenſe que ne le fait le ſecond ; & ainſi de ſuite.

439. Il réſulte de tout ceci, que, dans la pratique, où l'on n'a pas beſoin d'une ſi grande préciſion, on peut prendre pour regle, que *les dépenſes faites, en temps égaux, par un même tuyau horizontal, ſous une même hauteur de réſervoir, & pour différentes diſtances de l'orifice*

de sortie à l'origine du tuyau, sont entre elles, à peu près, en raison inverse des racines quarrées de ces distances.

440. On peut remarquer, par la table précédente, que le tuyau de 16 lignes de diametre dépense moins, à proportion, que celui de 2 pouces, sous une même hauteur de réservoir & une même longueur. Cela vient de ce qu'il y a relativement aux quantités d'eau que ces tuyaux peuvent contenir, plus de surfaces frottantes dans le petit tuyau que dans le gros (416).

441. Si le même tuyau, au lieu d'être rectiligne, est curviligne, cela diminue encore la dépense, mais d'une petite quantité : & cette dépense est encore un peu plus diminuée, si le plan du tuyau curviligne est mis dans une position verticale, plutôt que dans une position horizontale. Cette petite diminution est produite par le choc de l'eau contre les angles du tuyau, qui fait perdre une partie de la vîtesse.

442. Mais si le tuyau, au lieu d'être curviligne, étoit composé de parties droites qui fissent des angles entre elles, la diminution seroit plus grande, & d'autant plus que ces angles seroient moins ouverts ; parce qu'alors le choc de l'eau seroit moins oblique, & feroit par-là perdre plus de vîtesse.

443. Quand les tuyaux sont courbes, &

que le plan de leur courbure eſt vertical (*fig.* 57.), il y a alors des pentes & des contre-pentes, dans leſquelles l'air peut ſe cantonner, & ralentir, ou même arrêter le cours de l'eau. Soit, par exemple, le tuyau ABCDEFG, dont l'extrémité ſupérieure A répond à un réſervoir qui lui fournit l'eau, & l'extrémité G va fournir de l'eau à une fontaine. Le tuyau n'étant rempli que d'air, ſi l'on fournit de l'eau en A, cette eau, chaſſant l'air devant elle, remplira la portion AB plus la portion BC : l'eau arrivée à la courbure C, gliſſera par la partie inférieure de cette courbure, & ira (comme l'expérience le prouve) remplir le coude D, laiſſant derriere elle la colonne d'air CD, qui ne pourra plus ſortir. L'eau continuant de couler, montera de D en E, où étant arrivée, elle gliſſera encore par la partie inférieure de cette courbure, pour aller remplir le coude F, laiſſant derriere elle une ſeconde colonne d'air EF, qui y demeurera cantonnée, malgré la preſſion de la colonne AB. Car la colonne d'air CD ne peut pas contre-balancer la preſſion de la colonne d'eau DE; non plus que la colonne d'air EF ne contre-balancera la colonne d'eau FI. De ſorte que, quoique l'eau ſoit dans le tuyau AB bien au deſſus du niveau G, l'eau ne pourra s'élever que vers I, & ne coulera point. Le ſeul remede eſt de chaſſer les deux

Fig. 57.

colonnes d'air CD & EF, en mettant, au sommet des courbures, deux bouts de tuyau C & E, par lesquels on laissera échapper l'air, & que l'on fermera ensuite avec des tampons ou des robinets, lorsque le cours de l'eau sera bien établi.

Mouvement oscillatoire de l'Eau dans un Siphon.

444. Nous avons prouvé ci-dessus (262) que, *Fig.* 29. si un corps lourd ou pendule A (*fig.* 29.) suspendu par le moyen d'un fil CE, décrit des arcs de cercle BAD ou FAG, en oscillant autour du point fixe C, toutes ses oscillations sont isochrones ou de même durée, quoique les arcs parcourus BAD ou FAG soient inégaux. Nous avons prouvé aussi (263) que les durées des oscillations de deux pendules de longueurs inégales, sont entre elles comme les racines quarrées de ces longueurs. Le mouvement de l'eau, qui se balance ou oscille dans un siphon, est de même genre.

Fig. 58. 445. Supposons un siphon (*fig.* 58.) composé de trois branches, deux verticales *ln*, *mo*, & une horizontale *no*; que le diametre intérieur de ce siphon soit bien égal dans toute son étendue; que, dans ce siphon, le fluide, dans l'état de repos, occupe l'espace *anod* : alors les deux surfaces *ab*, *cd*, sont de niveau. Supposons ensuite

que,

que, par une cause quelconque, la liqueur soit forcée de descendre en *gh*, dans la branche *mo*, & par conséquent de s'élever en *ef*, dans la branche *ln* : si-tôt que cette cause cessera d'agir, le fluide sera abandonné uniquement à l'action libre de sa pesanteur. L'excès de longueur de la colonne *en* sur celle de la colonne *ho* forcera la liqueur de descendre, & même au dessous du niveau de l'autre, à cause de l'accélération de sa chûte (216); ce qui fera monter la liqueur dans l'autre branche *mo* ; laquelle liqueur redescendra & remontra ensuite alternativement, formant des oscillations semblables à celles d'un pendule qui va & vient : & la durée de chacune de ces oscillations sera précisément la même que celle des oscillations d'un pendule qui auroit pour longueur la moitié de la longueur *pqr* de la colonne fluide.

446. Puisque les oscillations de l'eau suivent les mêmes loix que celles des pendules (263), si l'on augmente ou diminue la longueur de la colonne d'eau, la durée de chacune de ses oscillations augmentera ou diminuera, & suivra la raison soudoublée de cette longueur.

Mouvement oscillatoire de l'Eau dans les Ondes.

447. *Newton*, dans ses *Principes mathématiques* (*Liv. II. Prop.* 46) compare au mouvement

oscillatoire de l'eau dans un siphon, le mouvement d'ondulation d'une masse fluide indéfinie, qui a été dérangée de sa situation d'équilibre par l'action du vent ou de toute autre maniere. Soit
Fig. 59. ABCDEF (*fig.* 59.) une eau stagnante dont la surface monte & descende par des ondes successives, que A, C, E soient les éminences de ces ondes, & B, D, F les cavités intermédiaires qui les séparent. Comme le mouvement des ondes se fait par l'ascension & la descension successive de l'eau; en sorte que ces parties qui sont les plus hautes, deviennent ensuite les plus basses, & ainsi de suite alternativement & successivement; & comme la force motrice qui fait monter les parties les plus basses & descendre les plus hautes, est le poids de l'eau élevée; cette ascension & cette descension alternatives sont analogues au mouvement d'oscillation de l'eau dans un siphon, & elles observent les mêmes loix par rapport à leur durée.

448. Si donc l'on a un pendule dont la longueur soit égale à la moitié de la distance transversale qu'il y a entre une éminence A, par exemple, & la cavité B, c'est-à-dire, égale à la moitié de A*b*, les parties les plus hautes deviendront les plus basses dans la durée d'une oscillation de ce pendule; & dans la durée d'une autre oscillation, elles redeviendront les plus hautes.

Chacune de ces ondes parcourra donc sa largeur dans le temps que le pendule emploiera à faire deux oscillations. Et comme un pendule dont la longueur seroit quadruple de celle du précédent, c'est-à-dire, dont la longueur égaleroit la largeur AC de l'onde, ne feroit qu'une oscillation pendant que le premier en feroit deux (263), on doit conclure que les ondes font leurs oscillations dans le même temps qu'un pendule qui auroit pour longueur la largeur des mêmes ondes, feroit les siennes. On appelle *largeur des ondes*, l'espace transversal AC qui est entre leurs plus grandes élévations, ou l'espace BD qui est entre leurs plus grands abaissemens.

449. Il suit de là que des ondes qui auroient 3 pieds $8\frac{17}{30}$ lignes de largeur, en avançant pendant une seconde, parcourroient leur largeur : par conséquent, dans une minute, elles parcourroient 183 pieds 6 pouces 10 lignes ; & dans une heure 11014 pieds 2 pouces. Si ces ondes avoient une largeur quadruple, elles parcourroient cette largeur dans un temps qui ne seroit que double : donc plus elles ont de largeur, plus elles parcourent de chemin dans un temps donné.

450. Le tout arriveroit ainsi que nous venons de le dire, dans l'hypothese que toutes les parties de l'eau monteroient & descendroient en lignes droites ; mais cette ascension & cette descension

ſe font plutôt par des lignes courbes : ainſi cette détermination de tel & tel eſpace parcouru, dans un temps donné, n'eſt qu'un à peu près.

Mouvement des Roues, mues par le choc de l'Eau.

451. Parmi les roues des moulins, les unes ont leur circonférence garnie d'aubes ; les autres l'ont garnie d'augets. Dans le premier cas, l'eau agit ſur ces roues principalement par ſon choc : dans le ſecond, elle agit par ſon poids. Parlons d'abord des roues mues par le choc de l'eau.

452. L'expérience a prouvé que plus les roues ont d'aubes, plus elles tournent vîte. Aux roues de 20 peids de diametre on met ordinairement 40 aubes : un plus grand nombre, comme, par exemple, 48, ſeroit plus avantageux. Aux roues des moulins placés dans des bateaux ſur des rivieres, on ne met pour l'ordinaire que 8 à 10 ailes ou aubes ; ces roues produiroient plus d'effet, ſi elles en avoient 15 à 16.

453. Lorſqu'une roue à aubes tourne dans une courſiere, l'impulſion qu'elle reçoit de la part de l'eau, eſt environ $\frac{1}{3}$ de la vîteſſe du fluide, plus grande que l'impulſion qu'elle reçoit dans un fluide indéfini : parce que, dans ce dernier, l'eau, qui eſt abondante, tourne derriere l'aube, & lui réſiſte ; au lieu que, dans la courſiere, il

n'y a que peu d'eau, qui fuit auſſi vîte ou même plus vîte que l'aube.

454. En effet, l'expérience prouve que, lorſque la courſiere n'a que la largeur & la profondeur ſimplement ſuffiſantes pour le jeu de la roue, & que le fluide a la liberté de s'échapper après avoir donné ſon choc, l'impulſion directe & perpendiculaire contre l'aube de la roue eſt environ double de l'impulſion que l'aube recevroit, ſi elle étoit plongée à même profondeur dans un courant indéfini.

455. Lorſqu'une roue, garnie de 48 aubes, tourne dans une courſiere, & qu'elle n'eſt pas plongée bien profondément dans l'eau, ſa circonférence doit prendre environ les $\frac{2}{5}$ de la vîteſſe du courant, pour que la machine produiſe le plus grand effet.

456. Les aubes dirigées au centre de la roue, paroiſſent les plus avantageuſes; parce qu'alors il s'en faudroit peu qu'elles fuſſent frappées perpendiculairement par le fluide : ce qui produiroit la percuſſion la plus grande. Lorſqu'elles ſont inclinées, le choc eſt oblique; ce qui diminue l'effort. Cependant un certain degré d'inclinaiſon fait que l'eau monte le long de l'aube, & y demeure pendant un certain temps : elle y agit alors par ſon poids, après avoir agi par ſon choc; & il peut ſe faire que l'effort qui en réſulte

faſſe plus que compenſer la diminution que le choc reçoit par l'obliquité ſous laquelle l'aube eſt frappée. En général, dans les roues poſées dans des courſieres qui ont une certaine pente, les aubes doivent être inclinées d'une certaine quantité au rayon, tant pour être frappées dans une direction plus approchante de la perpendiculaire, que pour recevoir une augmentation de force de la part du poids de l'eau. L'inclinaiſon des aubes au rayon la plus avantageuſe, paroît être, ſuivant l'expérience, entre 20 & 30 degrés.

457. Une roue placée tout près du réſervoir, tourne plus vîte que par tout ailleurs, parce qu'on profite alors de toute la chûte de l'eau. Mais ſi l'on eſt contraint de placer la machine au bout d'une courſiere, à une certaine diſtance du réſervoir, il faut incliner le canal de la courſiere d'environ la dixieme partie de ſa longueur, afin que la pente rende à l'eau la vîteſſe détruite par le frottement. Alors la roue reçoit la même impulſion que ſi elle étoit placée près du réſervoir.

Mouvement des Roues mues par le poids de l'Eau.

458. L'eau agiſſant par ſon poids, produit un effet beaucoup plus grand, que lorſqu'elle agit par ſon choc. Car M. *Parent* en 1704, & M.

Pitot en 1725, ont démontré qu'une roue (supposée sans frottement), mue par un courant d'eau, & destinée à faire remonter une portion de cette eau, à la hauteur de celle qui la fait mouvoir, n'en pourroit élever au plus que les $\frac{4}{27}$, ou un peu plus de $\frac{1}{7}$. Au lieu qu'en faisant agir l'eau sur la roue par son seul poids, elle peut faire remonter, à la même hauteur d'où elle descend, la moitié de l'eau qui descend, ou les $\frac{2}{3}$, ou les $\frac{1}{4}$, ou, &c.

459. Lors donc qu'on n'aura qu'une petite quantité d'eau, & qu'on sera contraint de la ménager (ce qui arrive le plus souvent, parce qu'il y a plus de petits ruisseaux que de grandes rivieres), il faudra faire agir cette eau par son poids plutôt que par son choc. Pour cela, au lieu de roues à aubes, on se servira de roues à augets, par-tout où l'on pourra avoir une chûte de plus de 4 pieds, & où l'on n'aura pas toute l'eau nécessaire pour faire tourner, par exemple, un moulin avec une roue à aubes.

460. M. *Deparcieux* (*Mém. de l'Acad. des Sc. Année* 1754, *pag.* 603 & 671.) a ensuite prouvé que, plus les roues à augets tournent lentement, plus elles produisent d'effet avec une dépense d'eau égale. Il a donc fait faire une petite roue de 20 pouces de diametre, dont la circonférence est garnie de 48 augets. Sur l'arbre ou

axe de cette roue, ſont placés quatre cylindres de différentes groſſeurs : le moindre a 1 pouce de diametre ; le ſuivant a 2 pouces ; le troiſieme en a 3 ; & le quatrieme, 4. Ces cylindres ſont les différens treuils autour deſquels s'enveloppe le cordon qui monte un poids, par le moyen d'une poulie de renvoi, placée au deſſus de la machine. L'arbre de cette roue eſt porté à chaque bout ſur deux rouleaux très-mobiles ; & cela pour diminuer les frottemens. Sur le devant de la roue, & un peu plus haut que ſon axe, eſt une petite tablette, ſur laquelle on place un vaſe percé ſur le côté tourné vers la roue, & que l'on remplit d'eau. Au deſſus de ce vaſe on place & l'on foutient une grande bouteille pleine d'eau, renverſée, & dont le goulot plonge de quelques lignes dans l'eau du vaſe, afin que la bouteille ne puiſſe ſe vider qu'à meſure que l'eau du vaſe s'écoule par le trou dont nous venons de parler. Cette eau, en s'écoulant, tombe dans un canal qui la porte dans les augets de la roue. Par-là, on eſt ſûr d'employer, à chaque expérience, toujours la même quantité d'eau.

461. Voici les réſultats des expériences faites par M. *Deparcieux*. Il a enlevé des poids tantôt de 12 onces, tantôt de 24 onces : le plus fort réſiſtant davantage, obligeoit la roue à tourner plus lentement. Il a fait envelopper les cordons

qui soutenoient les poids, successivement sur les différens cylindres : le même poids résistoit donc d'autant plus que son cordon enveloppoit un plus gros cylindre.

Diametres des cylindres.	*Elévations du poids de 12 onces.*	*Elévations du poids de 24 onces.*
1 pouces.	69 pouces. 9 lignes.	40 pouces. 0 lignes.
2	80 6	43 6
3	85 6	44 6
4	87 9	45 3

462. Quand le cordon enveloppe un plus gros cylindre, ou que le poids enlevé est plus considérable, la roue tourne plus lentement. On voit, par ces résultats, que le même poids est porté d'autant plus haut que son cordon enveloppe un plus gros cylindre. On voit de même que le poids double, qui ralentit encore la rotation, est porté à plus de la moitié de la hauteur à laquelle est porté le poids simple. Donc, dans ces cas-là, l'effet est plus grand.

463. On peut donc établir comme un principe, que *l'eau d'une même chûte agit par son poids beaucoup plus avantageusement que par*

son choc ; & que plus les roues à augets tournent lentement, plus, à dépenses d'eau égales, elles produisent d'effet. Ce plus d'effet résulte de ce que la même portion d'eau agit plus longtemps, quand la roue tourne plus lentement.

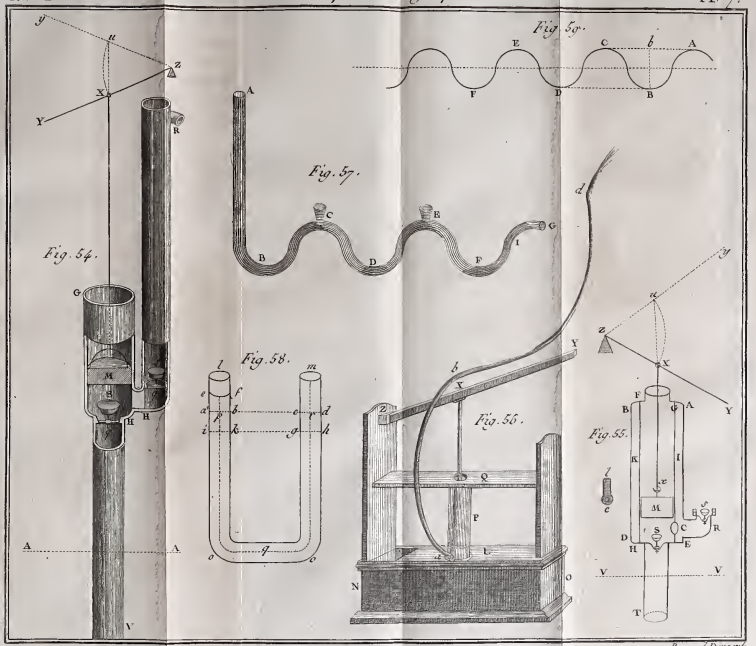


Fig. 54.
Fig. 57.
Fig. 58.
Fig. 56.
Fig. 55.
Benard Dir.eur.

CHAPITRE IX.

De la Mécanique ſtatique.

464. APRÈS avoir parlé des propriétés & des loix du mouvement, ſoit des corps ſolides, ſoit des fluides, nous devons maintenant nous occuper des moyens d'employer ces mouvemens utilement pour nous. Ces moyens ſont les machines ; c'eſt-à-dire, des aſſemblages d'une conſtruction plus ou moins ſimple, qui tranſmettent l'action d'une puiſſance ſur une réſiſtance, & qui la font croître ou diminuer, en variant les vîteſſes de l'une ou de l'autre. En un mot, ce ſont des inſtrumens, ſimples ou compoſés, deſtinés à produire du mouvement, de façon à épargner ou du temps dans l'exécution de l'effet, ou de la force dans la cauſe.

465. La Mécanique eſt la Science qui nous conduit à la connoiſſance de ces moyens. Dans ſa ſignification la plus étendue, elle a pour objet les loix du mouvement des corps & les loix de leur équilibre. Quand elle conſidere le mouvement, elle ſe nomme *Mécanique proprement dite*, ou *Dynamique* : c'eſt celle qui nous a occupés juſqu'à préſent. Quand elle traite des loix de l'équilibre,

elle s'appelle *Mécanique ſtatique* : c'eſt celle-ci dont nous allons nous occuper maintenant.

466. On diſtingue deux ſortes de machines : les machines ſimples, & les machines compoſées.

467. On compte ordinairement ſix machines ſimples, que l'on appelle *forces mouvantes*, & auxquelles toutes les autres machines peuvent ſe réduire ; ſavoir, le *levier*, la *poulie*, le *treuil*, le *plan incliné*, le *coin*, & la *vis*. On pourroit réduire ces ſix machines à deux, ſavoir, le levier & le plan incliné ; car on peut conſidérer la poulie & le treuil comme des aſſemblages de leviers : & le coin & la vis ne ſont autre choſe que des plans inclinés, comme nous le verrons ci-après (548 & 555).

468. Les machines compoſées ſont celles qui ſont en effet compoſées de pluſieurs machines ſimples, combinées enſemble. Ce ſont donc des aſſemblages d'une conſtruction plus ou moins compoſée, par le moyen deſquels on peut faire varier la valeur d'une puiſſance, en variant les vîteſſes.

469. Il y a, dans une machine, quatre choſes principales à conſiderer ; ſavoir, la puiſſance, la réſiſtance, le point d'appui ou le centre de mouvement, & la vîteſſe de la puiſſance & de la réſiſtance.

470. La puiſſance eſt une ou pluſieurs forces qui concourent à vaincre un obſtacle ou à ſoutenir ſon effort : tels ſont les efforts des hommes, des chevaux, des poids, des reſſorts, &c. Comme la puiſſance peut n'être pas toujours d'une valeur conſtante, il faut faire en ſorte que, dans ſon moment le plus foible, elle ſoit toujours ſupérieure à la réſiſtance, même dans ſon moment le plus fort ; ſans quoi la machine s'arrêteroit.

471. La réſiſtance eſt un ou pluſieurs obſtacles qui s'oppoſent au mouvement de la machine. Telle eſt, par exemple, un bloc de marbre qu'on enleve avec une grue. La réſiſtance, de même que la puiſſance (470), peut n'être pas toujours d'une valeur conſtante ; comme lorſqu'il s'agit de ſoutenir des fluides, de tendre des reſſorts, de diviſer des corps, &c. Il faut donc faire en ſorte que la réſiſtance, dans ſon moment le plus fort, ſoit toujours inférieure à la puiſſance, même dans ſon moment le plus foible. Ainſi, dans une pompe, par exemple, il faut ſuppoſer le tuyau montant tout plein, pour avoir le moment le plus fort de la réſiſtance ; il faut donc rendre la puiſſance ſupérieure au poids de cette colonne d'eau.

472. Le point d'appui ou centre de mouvement eſt cette partie d'une machine autour de laquelle les autres ſe meuvent. Dans une balance, par exem-

ple, le point de la chaſſe où repoſe l'axe du fléau, eſt le point d'appui. Il faut toujours que ce point d'appui ſoit aſſez fort pour ſoutenir la puiſſance & la réſiſtance, ou pour, dans certains cas, concourir avec une de ces forces à ſoutenir l'effort de l'autre.

473. Les vîteſſes ſe meſurent par les eſpaces que parcourent dans le même temps la puiſſance & la réſiſtance (56), ou qu'elles parcourroient, ſi l'une des deux emportoit l'autre. Comme, dans une machine, les temps ſont toujours égaux pour la puiſſance & la réſiſtance, ces eſpaces parcourus ou à parcourir déterminent leurs vîteſſes relatives (61).

474. Pour calculer l'effet d'une machine, on la conſidere ordinairement dans l'état d'équilibre, c'eſt-à-dire, dans l'état où la puiſſance, qui doit ſurmonter la réſiſtance, eſt en équilibre avec cette réſiſtance. Mais il faut remarquer qu'après le calcul du cas de l'équilibre, on n'a encore qu'une idée très-imparfaite de l'effet de la machine. Car, comme toute machine eſt deſtinée à mouvoir, on doit la conſidérer dans l'état de mouvement, & non pas dans celui d'équilibre. Pour cela il faut avoir égard, 1°. à la maſſe (52) de la machine ou des pieces de cette machine que la puiſſance eſt obligée de ſoulever; laquelle maſſe s'ajoute à la réſiſtance à vaincre, & pour laquelle

on doit par conséquent augmenter la puissance : 2°. au frottement, qui augmente prodigieusement la résistance (*96 & suivant.*). C'est principalement ce frottement & les loix de la résistance des solides, si différens pour les grands & pour les petits corps, qui font souvent qu'on ne sçauroit conclure de l'effet d'une machine en petit à celui d'une autre machine semblable en grand, parce que les résistances n'y sont pas proportionnelles aux dimensions des machines.

Du Levier.

475. Le levier est, de toutes les machines, la plus simple : c'est une verge de fer, de bois, ou de toute autre matiere équivalente, au moyen de laquelle une puissance, aidée d'un point d'appui, peut vaincre ou soutenir une résistance. Tel est un Maçon B (*fig.* 60) qui, au moyen de la verge de fer BA & du point d'appui A, souleve la pierre C. *Fig.* 60.

476. On regarde ordinairement un levier comme une ligne droite, inflexible & sans poids, qui détermine les distances & les positions de la puissance (470), de la résistance (471), & du point d'appui (472). Si cette ligne est courbe, sa courbure se réduit toujours à la plus courte distance qu'elle met entre la puissance & la résistance, ou entre l'une & l'autre de ces forces & le point

d'appui. Si elle a de la pesanteur, comme cela ne peut pas manquer d'être, son poids fait, d'une part, partie de la puissance, &, d'autre part, partie de la résistance ; & cela suivant le rapport de distance de ces forces au point d'appui.

477. On distingue trois sortes de leviers. On appelle *levier du premier genre*, celui dans lequel le point d'appui C (*fig.* 61) est placé entre la puissance A & la résistance B. On nomme *levier du second genre*, celui dans lequel la résistance B (*fig.* 62) est placée entre la puissance A & le point d'appui C. Enfin on appelle *levier du troisieme genre*, celui dans lequel la puissance A (*fig.* 63) est placée entre la résistance B & le point d'appui C. Et l'on distingue les différentes especes de chacun de ces genres par les différens rapports de distance de la puissance & de la résistance au point d'appui. Ainsi, dans le levier (*fig.* 64.), si le point d'appui est en *a*, la puissance en *p* & la résistance en *r*, on dit que c'est un levier du premier genre à bras égaux : si le point d'appui est en *b*, c'est un levier dont le bras de la puissance *p* est à celui de la résistance *r*, dans le rapport de 2 à 1 : & si le point d'appui est en C, le bras de la puissance est à celui de la résistance dans le rapport de 3 à 1 ; & ainsi des autres. De même, dans le levier du troisieme genre (*fig.* 65.), si la puissance *p* est appliquée

Fig. 61.

Fig. 62.

Fig. 63.

Fig. 64.

Fig. 65.

en

en 1, c'eſt un levier dont le bras de la puiſſance *p* eſt à celui de la réſiſtance R, comme 1 eſt à 3; car la longueur du bras de levier eſt toujours déterminée par la diſtance au point d'appui C. Mais ſi la puiſſance P eſt appliquée en 2, c'eſt un levier dont le bras de la puiſſance P eſt à celui de la réſiſtance R, comme 2 eſt à 3.

478. C'eſt la diſtance de ces forces au point d'appui, qui détermine leurs vîteſſes, & ces vîteſſes ſont toujours dans le même rapport que ces diſtances; car, ſi le point d'appui étant en C (*fig. 66.*), l'une des puiſſances eſt en B, & l'autre en A à une diſtance double du point d'appui, cette derniere A aura une vîteſſe double de celle de la premiere B. Car, ſi le levier vient à ſe mouvoir, tandis que B parcourra l'arc B *b*, A parcourra l'arc A *a*. Or ce dernier arc eſt double de l'autre; car les arcs ſont toujours dans le même rapport que leurs rayons. *Fig. 66.*

479. Comme l'effort d'un corps réſulte de ſa maſſe multipliée par ſa vîteſſe (64), il ſuit de ce que nous venons de dire (478), 1°. qu'*un poids agiſſant par un levier, produit un effort d'autant plus grand, qu'il eſt plus éloigné du point d'appui*; car alors il a plus de vîteſſe.

480. 2°. Que *deux poids égaux, oppoſés ſur un levier, ne ſont en équilibre qu'à égales diſtances du point d'appui.*

481. 3°. Que *deux poids inégaux y produisent des efforts égaux, quand leurs distances au point d'appui sont en raison réciproque de leurs masses.* Le gain qu'on fait du côté de la force employée, est donc toujours accompagné d'une perte du côté du temps ; & réciproquement.

Dans tout ce que nous venons de dire du levier, nous avons toujours supposé que les puissances agissoient l'une & l'autre dans des directions perpendiculaires ou également obliques au bras de levier.

482. La position la plus avantageuse d'une puissance qui agit par le moyen d'un levier, est que sa direction soit perpendiculaire au bras du levier par lequel elle agit. Ainsi, dans le levier (*fig.* 67.), si la puissance B agit dans la direction *b*B, elle produit le plus grand effort qu'elle puisse produire ; elle produiroit donc un effort moindre, si elle agissoit suivant *b*D ou *b*E. Mais si, lorsqu'une des puissances devient oblique au bras du levier, l'autre puissance le devient également, de maniere que les directions de ces deux puissances demeurent paralleles, telles que sont les directions *a p* & *b r* (*fig.* 68.), alors elles gardent entre elles le même rapport. Mais si ces directions reçoivent différens degrés d'obliquité, celle des deux qui s'écarte davantage de l'angle droit, rend la puissance plus foible : par

Fig. 67.

Fig. 68.

exemple, si la puissance Q (*fig.* 69.) gardant sa direction perpendiculaire, l'autre puissance devenoit oblique, & agissoit suivant *pc*, ou *pd*, ou *pe*, ou *pf*, elle deviendroit plus foible, & d'autant plus qu'elle s'écarteroit davantage de la direction perpendiculaire *p* P. *Fig.* 69.

483. Si l'on veut juger de ce degré d'affoiblissement, on n'a qu'à prolonger ces directions obliques *ad* ou *af* (*fig.* 70.) par des lignes indéfinies *ai* ou *ak*, & supposer que le bras de levier *ca* tourne sur le point *c*, & décrit par son extrémité *a*, une portion de cercle *aghik*; il y aura un point *n* ou *m* dans sa longueur, sur lequel la direction prolongée *ai* ou *ak* tombera perpendiculairement : c'est sur ce point que la puissance exerce toute sa force, & non pas à l'extrémité *a* du bras de levier. Sa distance au point d'appui *nc* ou *mc*, égale à *bc* ou *ec*, est moindre : c'est donc comme si cette puissance, au lieu d'être appliquée perpendiculairement en *a*, l'étoit perpendiculairement en *b* ou en *e*. Mais comme les rayons *ce* & *cb* sont égaux aux rayons *cm* & *cn*, lesquels sont les sinus des angles que forment les directions *ad* & *af* avec le bras de levier, on peut comprendre d'une maniere plus générale tout ce que nous venons de dire, & l'énoncer par cette proposition : *Les différens efforts d'une puissance, appliquée à l'extrémité d'un bras de levier selon* *Fig.* 70.

différentes directions, sont entre eux comme les sinus des angles que font ces directions avec le bras de levier. Ce qui explique très-bien pourquoi l'effort de la puissance est le plus grand qu'il puisse être, quand sa direction est perpendiculaire au levier (482); car alors elle fait avec ce bras de levier un angle droit, dont le sinus est le rayon entier, c'est-à-dire, le bras entier du levier.

484. Il est indifférent que la direction de la puissance s'écarte de l'angle droit, soit en dedans, soit en dehors du levier. Ainsi, qu'une puissance agisse suivant la direction aD (*fig.* 71.), faisant avec le levier ba un angle aigu, ou suivant la direction aP, faisant avec ce même levier un angle obtus, pourvu que, dans les deux cas, elle soit également éloignée de l'angle droit, sa force sera également affoiblie; puisque deux angles qui s'éloignent également tous deux de l'angle droit, l'un en défaut & l'autre en excès, ont le même sinus. Deux angles, l'un de 45 degrés & l'autre de 135 degrés, ont le même sinus.

Fig. 71.

485. En général, quand, dans une machine composée, plusieurs leviers agissent ensemble, & que les directions des puissances font avec leurs bras de levier des angles égaux ou également obliques, *la puissance est à la résistance, comme le produit des bras du levier de la résistance est*

au produit des bras de levier de la puiſſance, en raiſon inverſe des vîteſſes.

486. Puiſque, dans le cas d'équilibre, la puiſſance eſt toujours à la réſiſtance, comme la diſtance de la réſiſtance au point d'appui eſt à la diſtance de la puiſſance au même point d'appui (481), il s'enſuit que la puiſſance eſt ou plus grande, ou plus petite, ou égale à la réſiſtance, ſelon que la diſtance de la réſiſtance au point d'appui eſt ou plus grande, ou plus petite, ou égale à celle de la puiſſance. De là on doit conclure, 1°. que, dans le levier du premier genre, la puiſſance peut être ou plus grande, ou plus petite, ou égale à la réſiſtance; 2°. que, dans le levier du ſecond genre, la puiſſance eſt toujours plus petite que la réſiſtance; 3°. qu'elle eſt toujours plus grande dans le levier du troiſieme genre; & qu'ainſi ce dernier genre de levier, bien loin d'aider la puiſſance, quant à ſa force abſolue, ne fait au contraire que lui nuire. Cependant ce troiſieme genre de levier eſt celui que la Nature a employé le plus fréquemment dans le corps humain. (Voyez *Borelli*, *de Motu Animalium.*) Par exemple, quand nous ſoulevons un poids avec la main, ce poids doit être conſidéré comme fixé à un bras de levier, dont le point d'appui eſt dans le coude, & dont par conſéquent la longueur eſt égale à l'avant-bras. Or ce

même poids eſt ſoutenu en cet état par l'action des muſcles, dont la direction eſt fort oblique à ce bras de levier, & dont par conſéquent la diſtance au point d'appui eſt beaucoup plus petite que celle du poids (483). Ainſi l'effort des muſcles doit être beaucoup plus grand que le poids. Pour rendre raiſon de cette ſtructure, on remarquera que plus la puiſſance, appliquée à un levier, eſt proche du point d'appui, moins elle a de chemin à faire pour en faire parcourir un grand au poids (478). Or l'eſpace à parcourir par la puiſſance, étoit ce que la Nature avoit le plus à ménager dans la ſtructure de notre corps. C'eſt pour cette raiſon qu'elle a rendu la direction des muſcles fort peu diſtante du point d'appui; mais elle a dû auſſi les faire plus forts en même proportion.

487. Ce que nous avons dit ci-deſſus (480), ſemble être contredit par une machine imaginée par M. *de Roberval*, & que, pour cela, on a appelée *Balance de Roberval*. Elle paroît préſenter un paradoxe de mécanique, relativement à la propriété du levier. Voici en quoi conſiſte ce paradoxe. On attache à une regle fendue A B (*fig.* 72.) deux autres regles F C, E D, par le moyen de deux petits boulons, autour deſquels ces regles ſont mobiles: on attache de même aux extrémités de ces dernieres regles deux autres

Fig. 72.

regles FE, CD, auſſi mobiles autour des points C, D, &c. par leſquels elles ſont attachées ; en ſorte que le rectangle FCDE puiſſe prendre telle figure ou telle ſituation qu'on voudra, comme *f c d e*. Au milieu de la regle FE, ainſi que de la regle CD, on place vis-à-vis l'une de l'autre, deux autres regles HGO, INP, perpendiculaires & fixement attachées chacune à leur regle. Cela poſé, en quelque endroit de ces dernieres regles qu'on accroche les poids égaux H, I, ils ſont toujours en équilibre, même dans le cas où l'un des poids I ſeroit placé en P, beaucoup plus près des points d'appui A & B que ne l'eſt le poids H. Que devient donc, dit-on, cette regle générale (480), que *deux poids égaux oppoſés ſur un levier, ne ſont en équilibre qu'à égales diſtances du point d'appui ?*

488. On rendra aiſément raiſon de cette eſpece de paradoxe, ſi l'on fait attention à la maniere dont les poids H, I, agiſſent l'un ſur l'autre. Pour le bien entendre, on décompoſera les efforts des poids H, I, (*fig.* 73.) chacun en deux, dont *Fig.* 73. l'un, pour le poids H, ſoit dans la direction H*f*, & l'autre dans la direction H*e* ; & dont l'un, pour le poids I, ſoit dans la direction IC, & l'autre dans la direction ID. Or l'effort IC ſe décompoſe encore en deux efforts C*n* & CQ ; & de même l'effort ID ſe décompoſe en deux

efforts D*n* & DO. Donc la regle CD eſt tirée, dans la direction CD, par une force égale à C*n* plus *n*D, tandis que les efforts CQ & DO ſe détruiſent mutuellement. On trouvera de même que la regle *fe* eſt tirée, dans la direction *fe*, par une force égale à *fg* plus *ge*. Donc, puiſque BC eſt égale à B*f*; & que CD eſt égale & parallele à *fe*, les deux efforts, ſuivant CD & *fe*, doivent ſe faire équilibre.

489. C'eſt-là ce que l'on appelle la *décompoſition des forces*, très en uſage dans la Statique & dans la Mécanique. Dans cette décompoſition, les directions & les valeurs des deux forces, par exemple, C*n* & CQ, dans leſquelles on décompoſe la force donnée CI, ſont repréſentées par les deux côtés C*n*, CQ d'un parallélogramme C*n*IQ, dont la diagonale CI repréſente la direction & la valeur de la puiſſance donnée.

490. Le point d'appui, dans le levier, peut être regardé comme une troiſieme puiſſance qui fait équilibre à la force motrice & à la réſiſtance, ou qui concourt avec l'une des deux pour ſoutenir l'effort de l'autre.

491. Dans les leviers du premier genre (477), le point d'appui C (*fig.* 74.), qui ſe trouve alors placé entre la puiſſance D & la réſiſtance E, porte l'effort abſolu de ces deux forces, lorſque les directions DA & EB de ces forces ſont paral-

Fig. 74.

leles entre elles ; & l'effort qui se fait alors sur le point d'appui C, se fait dans une direction C I parallele à celles de ces forces. Mais si les directions I Q (*fig.* 76.) de la puissance, & K N de la résistance sont inclinées l'une à l'autre, le point d'appui L est chargé d'une quantité moindre que la somme totale des deux forces, & d'une quantité d'autant moindre, que cette inclinaison est plus grande ; & l'effort qui se fait alors sur le point d'appui L, se fait dans une direction L M qui tend au point de concours M des directions des puissances. *Fig.* 75.

492. Il en seroit de même, si les puissances *f* & *g* (*fig.* 76.) étoient en équilibre entre elles par inégalité de distance au point d'appui H, c'est-à-dire, dans le cas où leurs masses seroient en raison inverse de leurs distances *f* H & *g* H au point d'appui (481). La charge sur ce point d'appui ne seroit jamais plus grande que la somme réelle des deux forces, ou la somme des masses opposées : elle seroit égale à cette somme, si les directions des puissances étoient paralleles entre elles ; mais elle seroit moindre que cette somme, si ces directions *e c*, *e c* étoient inclinées l'une à l'autre ; & alors l'effort sur le point d'appui H se feroit dans une ligne H I qui tendroit au point de concours I de ces directions. Si, dans ce cas-là, le point d'appui n'est jamais plus chargé que de la *Fig.* 76.

ſomme réelle des maſſes oppoſées, quoique la petite maſſe produiſe un auſſi grand effort que la grande ; cela vient de ce que cette petite maſſe ne produit un auſſi grand effort que parce qu'elle a plus de vîteſſe : or la vîteſſe ne peſe point.

493. Dans les leviers du ſecond & du troiſieme genre (477), le point d'appui ne porte qu'une partie de l'effort de l'une des deux forces ; c'eſt-à-dire qu'il concourt avec la puiſſance dans les leviers du ſecond genre, ou avec la réſiſtance dans les leviers du troiſieme genre, pour porter l'effort de l'autre : comme lorſque deux hommes portent un fardeau, au moyen d'un bâton appuyé ſur leurs épaules. Ces deux hommes, dont l'un peut être regardé comme la puiſſance, & l'autre comme le point d'appui, ne portent chacun qu'une partie du fardeau. Et celui des deux qui eſt le plus près du fardeau, en porte une plus grande portion, & cela dans le rapport de cette proximité.

De la Poulie.

494. La poulie, l'une des ſix machines réputées
Fig. 77. ſimples (*fig.* 77), eſt un corps rond, plat, mobile ſur ſon axe C, & dont la circonférence *c g*
Fig. 78. (*fig.* 78.) eſt creuſée en gorge pour recevoir la corde FBAR, ou EOAR, ou GHOAR
Fig. 77. (*fig.* 77) à laquelle on applique d'une part la

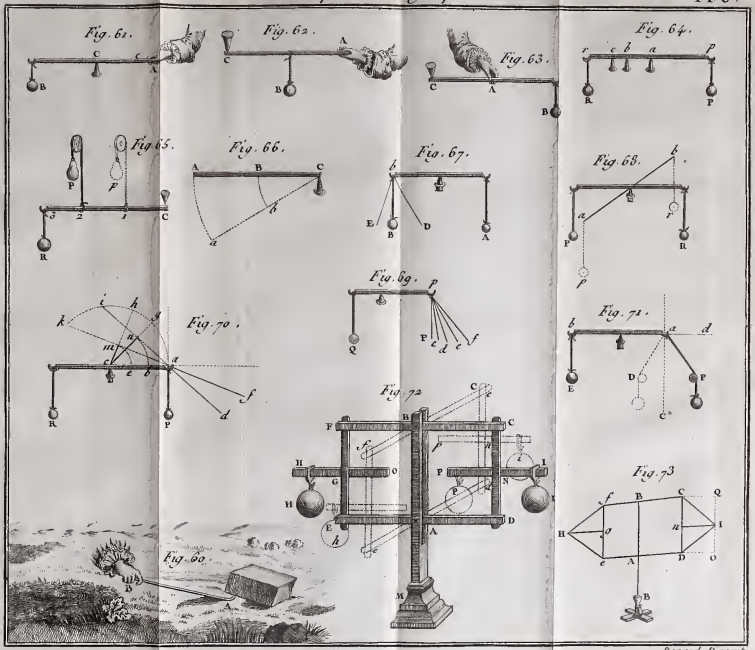


Fig. 61.
Fig. 62.
Fig. 63.
Fig. 64.
Fig. 65.
Fig. 66.
Fig. 67.
Fig. 68.
Fig. 69.
Fig. 70.
Fig. 71.
Fig. 72.
Fig. 73.
Fig. 90.
Bonard Direxit.

puiſſance F ou E ou G, & de l'autre part la réſiſtance R. On creuſe la gorge *cg* (*fig.* 78.), non pas en rond, mais en angle, comme on le voit dans la figure, afin que la corde, étant en quelque façon pincée dans cet angle, ne gliſſe pas ſur la gorge. *Fig.* 78.

495. On fait ordinairement les poulies de bois ou de métal, & on les fait tourner ſur leur axe A*a* : il vaudroit mieux, ſur-tout ſi elles ſont de bois, fixer l'axe à la poulie, & faire tourner le tout enſemble dans les trous de la chape A D*a* qui ſoutient la poulie. Le mouvement ſe faiſant alors ſur moins de ſurface, il y auroit moins de frottemens : & ſi les trous de la chape venoient à s'agrandir, comme il n'y a que la partie inférieure qui reçoit l'effort, le trou s'alongeroit ; la poulie deſcendroit un peu, mais elle n'en tourneroit pas moins rondement ; ce qui n'arrive pas, lorſque la poulie, tournant ſur ſon axe, le trou, qui reçoit l'axe, s'agrandit, & ſouvent pas également dans tous les ſens.

496. La poulie eſt une machine au moyen de laquelle on peut élever des fardeaux d'une maniere ou plus commode ou plus avantageuſe : plus commode, en rendant le mouvement continu & en changeant la direction du mouvement, pour mettre dans toute ſa force la puiſſance qui agit ; de ſorte que, par-là, un cheval, qui ne peut agir

qu'horizontalement, peut vaincre une réſiſtance verticale : plus avantageuſe, en faiſant enlever un grand poids avec une force moindre. En effet, au moyen d'une poulie, 1°. la puiſſance peut tirer en toutes ſortes de direction, ſans rien perdre de ſon avantage; parce que la corde par laquelle elle agit, eſt toujours tangente à la circonférence de la poulie, & par conſéquent toujours perpendiculaire au rayon CH ou CB ou CO (*fig.* 77.); ce qui eſt la direction la plus avantageuſe (482). *Fig.* 77.

2°. Comme les puiſſances qu'on y applique, agiſſent d'autant plus fortement, que leur diſtance à l'axe eſt plus grande, en ſe ſervant d'une poulie qui ait pluſieurs gorges (*fig.* 79.), ou en enfilant ſur le même axe pluſieurs poulies de différens diametres, celle des puiſſances qui agira à une plus grande diſtance de l'axe *c*, aura de l'avantage ſur l'autre. Ainſi, ſi l'on ſuppoſe en I un poids de ſix livres, il faudra en H ſix livres pour le ſoutenir, parce que les rayons *cd* & *c* 1 ſont égaux. Mais il ne faudroit que trois livres en K; car le rayon *c* 2 eſt double du rayon *cd* : & il ne faudroit que 2 livres en L, parce que le rayon *c* 3 eſt triple du rayon *cd*. *Fig.* 79.

Dans tous ces cas, la poulie fait l'office de levier du premier genre (477); car on peut la conſidérer comme un aſſemblage de leviers fixes, dont le point d'appui commun eſt au centre. Tous

ces leviers ont des bras égaux dans les poulies à une seule gorge (*fig.* 77.) ; & ils ont des bras inégaux dans les poulies à plusieurs gorges (*fig.* 79.). Toutes ces poulies sont fixes. *Fig.* 77. *Fig.* 79.

497. Nous venons de dire (496) qu'au moyen d'une poulie à plusieurs gorges (*fig.* 79.), on peut rendre égales les actions de deux puissances inégales entre elles : on peut de même entretenir l'équilibre, ou un rapport constant, entre deux puissances dont les forces relatives changent continuellement. Pour cela on peut se servir d'une poulie, qui, au lieu de plusieurs gorges concentriques, n'en a qu'une, mais qui prend la forme d'une spirale, & conséquemment augmente peu à peu de diametre, selon la proportion suivant laquelle augmente l'intensité de l'une des deux forces. Qu'on prenne, par exemple, une poulie A (*fig.* 80.), dont la gorge soit creusée en spirale, & dont on voit la coupe en *gabc* & le plan en *de*4 : qu'on fixe au centre de cette poulie un barillet *e* ou E garni d'un ressort pareil à celui d'une montre. Si la force de ce ressort est telle qu'une puissance quelconque, un poids, par exemple, agissant par DE, le tienne en équilibre ; lorsqu'on aura roulé le ressort de trois ou quatre tours de plus, le même poids le tiendra encore en équilibre en agissant par *g* F, si le rayon EF est alongé dans la proportion de l'augmen- *Fig.* 79. *Fig.* 80.

tation d'intenſité de la force du reſſort. Ce que l'on dit de ce point F, on peut le dire de tous les autres. D'où il ſuit que ces deux puiſſances, le reſſort & le poids, garderoient toujours entre elles le même rapport, quoique l'intenſité de l'une des deux variât continuellement. C'eſt-là le moyen que l'on a pris, en horlogerie, pour rendre uniforme l'action des reſſorts des montres & des pendules, pendant tout le temps de leur développement.

Fig. 77. 498. L'axe C (*fig.* 77.) d'une poulie ſimple ne peut jamais être chargé par une plus grande force que celle qui eſt égale à la ſomme des deux puiſſances F & R : & il peut n'être chargé que d'une quantité moindre. Lorſque les directions BF & AR des deux puiſſances ſont paralleles, c'eſt-à-dire, lorſque la corde embraſſe la moitié de la circonférence de la poulie, l'axe eſt chargé d'une force égale à la ſomme de celles des deux puiſſances. Mais ſi les directions EO & RA de ces deux puiſſances ſont obliques entre elles, l'axe n'eſt chargé que d'une force moindre que la ſomme de celles des deux puiſſances ; & dans ce cas-là, *la force dont l'axe eſt chargé, eſt à la ſomme des forces des deux puiſſances, comme la ſoutendante* AO *de l'arc embraſſé par la corde, eſt au diametre* AB. Et l'effort ſe fait alors ſur l'axe C, dans une direction qui, paſſant par C,

tend au point de concours des directions EO & RA des deux puissances.

499. Et dans tous ces cas la force F doit être égale à la résistance R pour avoir équilibre. D'où il suit que la poulie simple n'aide point la puissance, & ne lui nuit pas non plus. Elle est seulement propre, comme nous l'avons dit ci-dessus (496), à conserver la puissance dans sa direction la plus avantageuse, à changer la direction du mouvement, & à rendre ce mouvement continu.

500. On peut aussi considérer la poulie comme levier du second genre (477) : elle en a effectivement les propriétés, lorsque la résistance R (*fig.* 81.) est attachée à la chape *c i*, & qu'un des bouts de la corde, qu'on fait passer alors par-dessous la poulie, est attaché au point fixe *a*, pendant que l'autre est tiré ou soutenu par la puissance *d*. Alors la poulie est mobile, & est elle-même enlevée avec le fardeau. Elle représente donc un levier du second genre *b e*, dont le point d'appui est en *b*, & qui est partagé en deux parties égales *b c*, *c e*, par la direction *c* I de la résistance R. C'est pourquoi, dans ce cas-là, la puissance *d* n'a besoin d'être que la moitié de la résistance R pour la tenir en équilibre. Et si le fardeau est enlevé, la puissance *d* fait un chemin double de celui de la résistance R, *Fig.* 81.

& a par conſéquent une vîteſſe double. Car ſuppoſons que le centre *c* de la poulie eſt porté au point *h*, alors il ne reſte au deſſous de la ligne *da* que la portion de corde qui paſſe ſous la poulie : les deux portions *ba* & *ed*, ou leurs équivalentes, ſont donc paſſées au deſſus ; mais *ba* & *ed*, qui marquent l'eſpace parcouru par la puiſſance, ſont, priſes enſemble, doubles de *ch*, eſpace parcouru par la poulie. Donc la puiſſance a une vîteſſe double de celle de la réſiſtance. Dans le cas préſent, la corde embraſſe la moitié de la circonférence de la poulie ; & les directions des deux puiſſances ſont paralleles. Le bras de levier de la puiſſance eſt donc le diametre *eb* de la poulie ; & celui de la réſiſtance n'en eſt que le rayon *cb*. C'eſt pourquoi, pour avoir équilibre, *il faut que la puiſſance ſoit à la réſiſtance, comme le rayon eſt au diametre.*

501. Mais ſi les directions des puiſſances étoient obliques entre elles ; ſi, par exemple, un des bouts de la corde étoit attaché au point fixe *g*, pendant que l'autre ſeroit tiré ou ſoutenu par la puiſſance P, elle repréſenteroit encore un levier du ſecond genre *ml*, dont le point d'appui ſeroit en *m*, & qui ſeroit partagé en deux parties égales *mi*, *il*, par la direction *c*I de la réſiſtance. Alors *la puiſſance* P *devroit être à la réſiſtance* R, *comme*

comme le rayon c b est à la soutendante l m de l'arc embrassé par la corde.

502. Si au lieu de tirer de bas en haut, on trouve plus commode de tirer de haut en bas, on ajoutera, au dessus de la poulie mobile *m* (*fig.* 82), une poulie fixe *n*, qui ne changera rien à la valeur de la puissance (499). Et si la puissance n'étoit pas assez forte pour enlever le fardeau, on ajouteroit encore une seconde poulie mobile, & une autre poulie fixe (*fig.* 83.), ou même un plus grand nombre. La puissance acquerroit par-là beaucoup de valeur. Ce sont ces assemblages de poulies, dont les unes sont fixes & les autres mobiles, & toutes embrassées par une même corde, que l'on appelle *Mouffles*, & en terme de Marine, *Palans*, *Caliornes*. Les poulies fixes 2 & 4 sont toutes portées par une même chape, & les poulies mobiles 1 & 3 par une autre chape. La partie inférieure M de la chape qui porte les poulies fixes, sert de point fixe pour un des bouts de la corde; & c'est à la partie inférieure R de la chape qui porte les poulies mobiles, que l'on accroche le fardeau.

Fig. 82.

Fig. 83.

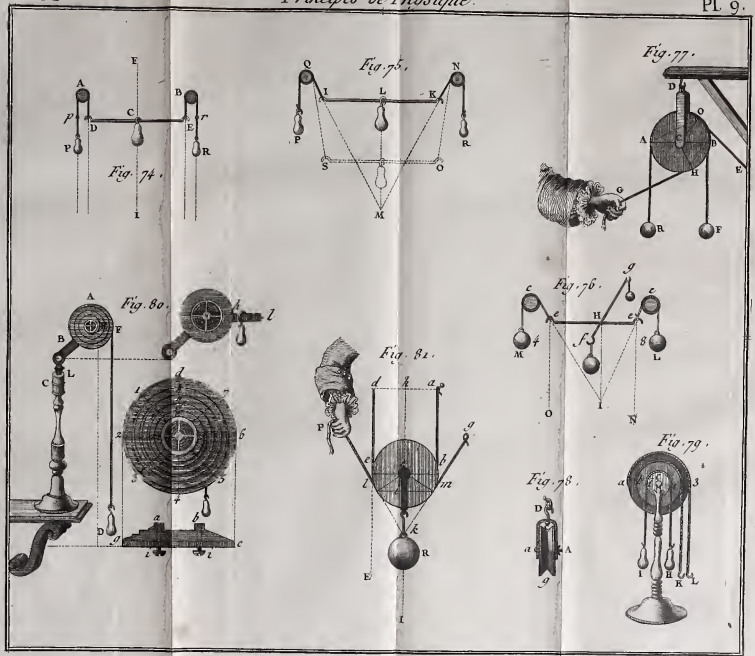
503. On peut, au moyen de ces assemblages, enlever de très-grands fardeaux avec une petite force; car il est démontré que la *force nécessaire pour soutenir un poids*, par le moyen d'une mouffle, *est au poids lui-même*, *comme l'unité*

eſt au double du nombre des poulies mobiles, lorſque les directions des cordes ſont bien paralleles entre elles : les puiſſances ſont alors, comme nous l'avons dit ci-deſſus (500), en raiſon inverſe des vîteſſes.

504. D'où il ſuit que le nombre des poulies mobiles & la puiſſance étant donnés, on trouve aiſément le poids que la mouffle pourra ſoutenir, en multipliant la puiſſance par le double du nombre des poulies mobiles. Par exemple, ſuppoſons que la puiſſance égale 60 livres, & que le nombre des poulies mobiles ſoit trois : 60 multipliés par 6, double de 3, égale 360, qui eſt le poids que peut ſoutenir cette mouffle.

505. De même le nombre des poulies mobiles étant donné, ainſi que le poids que doit ſoutenir la mouffle, on trouvera la puiſſance néceſſaire, en diviſant le poids par le double du nombre des poulies mobiles. Suppoſons donc que le poids égale 800 livres, & que le nombre des poulies mobiles ſoit 4 : 800 diviſés par 8, double de 4, donnent au quotient 100 livres, qui eſt la force néceſſaire pour ſoutenir, avec une pareille mouffle, le poids de 800 livres.

506. Pour trouver le nombre des poulies mobiles que doit avoir une mouffle, afin de ſoutenir un poids donné avec une puiſſance donnée, il faut diviſer le poids par la puiſſance : la moitié



Benard Direxit.

du quotient est le nombre cherché. Supposons, par exemple, que le poids soit 500 livres, & la puissance 50 : il faut que la mouffle ait 5 poulies mobiles; car 500 divisés par 50, donnent 10 au quotient, dont la moitié est 5.

507. Dans tous ces cas, nous avons supposé (503) que les directions des cordes sont paralleles entre elles. Si elles sont obliques, alors *la résistance ou le fardeau à soutenir est à la puissance, comme la somme des sinus des angles que les cordes tangentes aux poulies mobiles font avec l'horizon, est au sinus total.* Il faut donc, dans ce cas-là, que la puissance soit plus grande que nous ne l'avons dit. C'est pourquoi il faut faire en sorte que les directions des cordes soient bien paralleles entre elles.

508. Pour empêcher le frottement des cordons les uns contre les autres, ce qui occasionneroit une grande résistance & useroit la corde, on est contraint d'employer, dans la même mouffle, des poulies de diametres de plus petits en plus petits; ce qui est un inconvénient, à cause de la roideur de la corde (576). Il vaut donc mieux placer les poulies de chaque mouffle, la supérieure & l'inférieure, parallélement entre elles, en les plaçant dans une chape commune, & les faisant traverser par un boulon commun, comme on le voit *fig.* 84. Là, toutes les poulies sont de *Fig.* 84.

diametres égaux. Ces sortes de moufles sont fort en usage, sur-tout dans les vaisseaux. Les cordons n'y sont pas exactement paralleles ; mais ce défaut est peu considérable.

509. Dans les calculs précédens (503 *& suiv.*) nous avons fait abstraction de la résistance des frottemens, & de celle qui naît de la roideur & du poids des cordes (572 *& suiv.*), pour lesquelles il faut augmenter la puissance, & la rendre plus grande que nous ne l'avons supposée. Il peut même arriver qu'en augmentant le nombre des poulies, on augmente tellement ces résistances, qu'elles fassent plus que compenser l'augmentation de force qui résulte de l'augmentation du nombre des poulies.

Des Roues.

510. Les roues, de même que les poulies ; peuvent être considérées comme des assemblages de leviers. Il y en a de deux especes : les unes tournent toujours dans le même lieu sur un axe qui est fixé à leur centre, & dont les pivots tournent dans des trous qui servent d'appui : telles sont les roues des horloges, des moulins, des tournebroches, &c. Ces sortes de roues reçoivent le mouvement ou le transmettent par certaines parties saillantes qu'on réserve ou qu'on ajoute à leur circonférence, & que l'on nomme

dents, *chevilles*, *vannes*, &c. Les roues de l'autre espece, roulant sur leur circonférence, portent leur centre & l'axe ou l'essieu qui le traverse, dans une direction parallele au plan ou au terrein qu'elles parcourent : telles sont les roues des voitures, comme carrosses, charrettes, &c. Ces sortes de roues ont donc deux mouvemens; l'un, de leur centre qui s'avance en ligne droite, & l'autre, de toutes leurs parties qui circulent autour de ce centre.

511. Quand il s'agit des roues de la premiere espece, on place ordinairement sur un même arbre ou axe une grande roue & une petite roue, autrement nommée *pignon*, dont les dents ou les ailes engrenent avec les dents d'une autre grande roue. Dans les grandes machines on substitue souvent aux pignons, & pour en tenir lieu & en faire l'office, des *lanternes*, qui ne sont autre chose que des cylindres ou fuseaux paralleles entre eux & assemblés en rond entre deux plateaux. Alors les dents de la roue engrenent avec les fuseaux de la lanterne, commes elles feroient avec les ailes d'un pignon. Le mécanisme revient absolument au même dans les deux cas : ainsi il suffit d'examiner l'engrenage des roues & des pignons.

512. Les roues de la premiere espece (510), celles dont les axes ne font que tourner dans le

même lieu, doivent être considérées comme des leviers du premier genre (477.), dont les bras sont les rayons des roues & des pignons, & qui ont leur point d'appui à l'axe. Soient donc trois roues A, B, C (*fig.* 85.), & leurs pignons correspondans *a*, *b*, *c*. Le pignon, ou, ce qui est la même chose, le cylindre *a* soutient un poids P; la roue A, qui a le même arbre que le cylindre *a*, engrene avec le pignon *b*; la roue B, qui a le même arbre que le pignon *b*, engrene avec le pignon *c*; la roue C, qui a le même arbre que le pignon *c*, est tirée à sa circonférence par la puissance Q : & tout le système est en équilibre. On voit qu'ici le poids P agit par les rayons des pignons; & que la puissance Q agit par les rayons des roues. Supposons que les rayons des roues sont quadruples des rayons des pignons; que les premiers sont, par exemple, de 8 pouces, & les autres de 2 pouces. Comme il faut, pour avoir équilibre, que *la puissance soit à la résistance, comme le produit des bras de levier de la résistance, est au produit des bras de levier de la puissance* (485), c'est-à-dire, en raison inverse de la longueur des bras de levier; on cherchera ces produits, en multipliant les uns par les autres & les rayons des roues, & les rayons des pignons. Le premier produit sera 512; & le second 8; auquel cas la puissance Q doit

Fig. 85.

être au poids P, comme 8 eſt à 512, ou comme 1 eſt à 64.

513. D'où il ſuit qu'en cas d'équilibre, & quels que ſoient les diametres des roues & des pignons, *la puiſſance eſt à la réſiſtance, comme le produit des rayons des pignons, eſt au produit des rayons des roues.* On voit par-là que ces ſortes de machines peuvent donner un très-grand avantage à la puiſſance ſur la réſiſtance, relativement à la force. Mais cet avantage eſt acquis aux dépens de la vîteſſe, lorſque la machine paſſe du repos au mouvement. Car on perd toujours en vîteſſe ce que l'on gagne en force, & réciproquement.

514. On a ſouvent beſoin, ſur-tout dans l'horlogerie, que les nombres des révolutions des roues & des pignons aient entre eux un certain rapport. On l'obtiendra en donnant aux roues & aux pignons les nombres convenables de dents & d'ailes: par exemple, ſi l'on veut qu'une roue ne faſſe qu'une révolution pendant qu'un pignon en fait quatre, il faudra donner à la roue quatre fois autant de dents que le pignon a d'ailes. Ainſi, ſi nous ſuppoſons quatre roues A, B, C, D (*fig.* 86.), dont la premiere A engrene avec le pignon *b* fixé à la ſeconde B; celle-ci engrene avec le pignon *c* fixé à la troiſieme C; cette troiſieme engrene avec le pignon *d* fixé à la qua- *Fig.* 86.

trieme D ; enfin cette quatrieme engrene avec le dernier pignon *e* : pour avoir le rapport du nombre des révolutions de la premiere roue A au nombre des révolutions du dernier pignon *e*, il faut multiplier le nombre des dents de la roue A, par le nombre des dents de la roue B ; ce premier produit par le nombre des dents de la roue C ; & le second produit, par le nombre des dents de la roue D : il faut ensuite multiplier le nombre des ailes du pignon *b* par le nombre des ailes du pignon *c* ; ce premier produit, par le nombre des ailes du pignon *d* ; & le second produit, par le nombre des ailes du dernier pignon *e* : les derniers produits des dents des roues & des ailes des pignons, donneront le rapport cherché.

515. On peut donc établir, pour regle générale, que *le nombre des révolutions de la premiere roue A, est au nombre des révolutions du dernier pignon, comme le produit des ailes des pignons, est au produit des dents des roues.* On voit par-là qu'il n'est point nécessaire de déterminer les nombres d'ailes & de dents que chaque pignon & chaque roue doit avoir en particulier : il suffit que le rapport du produit de toutes les ailes, au produit de toutes les dents, soit le même que celui que l'on désire.

516. Au moyen des roues de cette espece, on peut transmettre au loin l'action d'une puissance,

changer la direction du mouvement, & faire varier la vîteſſe dans l'une ou l'autre des puiſſances.

1°. Si, au lieu d'appliquer le pignon D (*fig.* 87) immédiatement ſur la roue H, on fixe ce pignon D à l'autre extrémité de l'axe prolongé, tant qu'il en ſera beſoin, de cette maniere l'action de la puiſſance qui agira par la manivelle G, ſe pourra tranſmettre à une certaine diſtance par le moyen du pignon D fixé à l'extrémité de l'axe. *Fig.* 87.

2°. Si ce pignon D engrene avec une autre roue E, qui ait des dents paralleles à ſon axe, le mouvement qui lui ſera tranſmis, changera de direction, & deviendra horizontal, de vertical qu'il étoit.

517. 3°. Enfin, ſi la roue E a quatre fois autant de dents que le pignon D a d'ailes; comme ce pignon ne peut ſe mouvoir ſans la roue verticale H, il faut que l'un & l'autre faſſent quatre tours pour en faire faire un à la roue horizontale E; & réciproquement, ſi l'on fait faire une révolution à celle-ci, on en fera faire quatre au pignon D & à la roue verticale H. Si l'on ſuppoſe donc à chacune des deux grandes roues H & E une manivelle G ou F menée par un homme qui lui faſſe faire une révolution dans une ſeconde, la vîteſſe ſera quatre fois auſſi grande, lorſqu'il agira par la manivelle F, que s'il agiſſoit par la manivelle G. Il eſt vrai qu'alors

il lui faudra employer quatre fois autant de force ; parce qu'on perd toujours en force ce qu'on gagne en vîteſſe ; & réciproquement, on perd toujours en vîteſſe ce qu'on gagne en force. La liberté de choiſir eſt une choſe avantageuſe.

518. Quant aux roues de la ſeconde eſpece (510), qui ont deux ſortes de mouvement, comme celles des voitures, dont le centre s'avance en ligne droite, pendant que les autres parties tournent autour de lui, on doit les regarder le plus ſouvent comme un levier du ſecond genre, qui ſe répete autant de fois qu'on peut imaginer de points à la circonférence. Car chacun de ces points eſt l'extrémité d'un rayon CM (*fig.* 88.) appuyé d'une part ſur le terrein M ; & l'autre bout C, chargé de l'eſſieu qui porte la voiture, eſt en même temps tiré par la puiſſance P qui la mene. De ſorte que ſi le plan étoit parfaitement uni & de niveau, ſi la circonférence des roues étoit bien ronde & ſans inégalités, s'il n'y avoit aucun frottement de l'axe au moyeu, & ſi la direction de la puiſſance demeuroit toujours bien parallele au plan, une petite force meneroit une charrette très peſante ; car la réſiſtance, qui vient de ſon poids, repoſe entiérement ſur le terrein par le rayon CM, ou par un ſemblable qui lui ſuccede l'inſtant d'après.

Fig. 88.

519. Mais de toutes les conditions que nous

venons de supposer, & dont le concours seroit nécessaire pour produire cet effet, à peine s'en rencontre-t-il quelqu'une dans l'usage ordinaire. Les roues des charrettes sont grossiérement arrondies, & garnies de gros clous : les chemins sont naturellement inégaux, ou ils le deviennent par le poids de la voiture qui les enfonce : ces inégalités, soit des roues, soit du terrein, font que la roue s'appuie par un rayon CQ ou CN oblique à la direction CP de la puissance, ou à la direction CM de la résistance. Le poids qui réside en C, résiste donc à la puissance, qui ne peut le faire avancer qu'en le faisant monter autant que le point Q ou N est au dessus du point M. La puissance est donc alors obligée de soutenir une partie du poids de la voiture, comme si elle étoit placée sur un plan incliné. D'ailleurs, quand les circonférences rouleroient sur des surfaces parfaitement unies, droites & dures, il se fait indispensablement, de l'essieu aux moyeux, un frottement considérable.

520. Les creux & les hauteurs qui se rencontrent dans les chemins, changent aussi la direction de la puissance. Un cheval placé plus bas ou plus haut, par la disposition du terrein, au lieu de faire son effort par la ligne CP, parallele à la portion du plan qui porte naturellement les roues, le fait assez souvent par CS ou CR, c'est-à-

dire, obliquement à la direction CM de la résistance, & par conséquent avec désavantage; car une charrette qui se meut assez facilement par la force d'un seul cheval sur un terrein horizontal, a souvent besoin de plusieurs chevaux pour être tirée sur un plan qui va tant soit peu en montant.

521. En général, pour tirer un fardeau sur un terrein inégal & raboteux, comme ils le sont presque tous, il est plus avantageux, ainsi que l'ont prouvé MM. *Stevin*, *Wallis* & *Deparcieux*, de tirer un peu en en haut, comme par la ligne CR; il faut donc que l'axe des roues soit un peu plus bas que la poitrine des chevaux : cela fait que la direction de la puissance approche davantage du parallélisme à chacun des petits plans inclinés que forment les inégalités du terrein.

522. Mais, s'il n'est pas possible de se mettre absolument au dessus de toutes ces difficultés, on peut cependant les prévenir en partie, en employant de grandes roues plutôt que des petites. Car il est certain que les petites roues s'engagent plus que les grandes dans les creux du terrein, comme on le peut voir par la *fig.* 89, où le rayon *cq* de la petite roue, qui porte contre le terrein, lorsqu'il s'agit de sortir du trou, est beaucoup plus oblique à la direction *cp* de la puissance, que ne l'est le rayon C*q* de la grande

Fig. 89.

roue à la direction CP. De plus, comme la circonférence d'une grande roue mesure, en roulant, plus de chemin que celle d'une petite, elle tourne moins vîte, ou elle fait un moindre nombre de révolutions, pour parcourir un espace donné; ce qui épargne une partie des frottemens.

Du Treuil.

523. Le treuil ou tour, l'une des six machines réputées simples, est un arbre ou cylindre qui tourne sur son axe soutenu sur deux points fixes; au moyen duquel, avec une petite force, on enleve un grand fardeau attaché à une corde, qui s'enveloppe sur le cylindre; & cela par le moyen d'une espece de tambour fixé à une des extrémités du cylindre, & portant assez souvent à sa circonférence des especes de chevilles ou leviers.

524. Dans l'usage ordinaire, au lieu de tambour, on ne fait que fixer, à l'une des extrémités du cylindre AB (*fig.* 90.), des leviers croisés EF, GH, par le moyen desquels on fait tourner le cylindre sur son axe CD, tandis que la corde, qui soutient le poids *a*, s'enveloppe sur le cylindre AB. Il est aisé de voir que l'effet du treuil revient à celui d'un levier du premier genre. Car supposons que *hg* (*fig.* 91) représente le rayon du cylindre; & que *h*P représente le bras de levier par lequel agit la puissance P; *Fig.* 90. *Fig.* 91.

si la longueur de hP, est à celle de hg, comme 3 est à 1, une puissance de 100 livres en P, agissant dans une direction perpendiculaire à Ph, tiendra en équilibre un poids G de 300 livres (481).

525. Il suit de là que, pour avoir équilibre par le moyen du treuil, il faut que *la puissance* P *soit au poids* G, *comme le rayon hg du cylindre, est au levier hP*; ou, ce qui revient au même, *comme le rayon du cylindre est au rayon du tambour*. Ainsi, si, dans l'état d'équilibre, la puissance est moindre que le poids, & cela, dans le rapport du rayon du cylindre à celui du tambour; aussi, dans l'état de mouvement, la puissance va plus vîte que le poids, & cela, dans le rapport du rayon du tambour à celui du cylindre. Cette regle suppose que la puissance est toujours perpendiculaire au rayon par lequel elle agit; car la direction du poids est toujours perpendiculaire au rayon du cylindre, puisque la corde qui le soutient, est toujours tangente à sa circonférence.

526. Dans les grands efforts, comme il faut que les bras de levier de la puissance soient très-longs, & qu'on ne pourroit pas, vu leur longueur, atteindre l'extrémité de l'un pendant qu'on tiendroit l'extrémité de l'autre; que d'ailleurs on ne pourroit pas les multiplier assez, sans affoiblir considérablement la tête du cylindre; on a pris

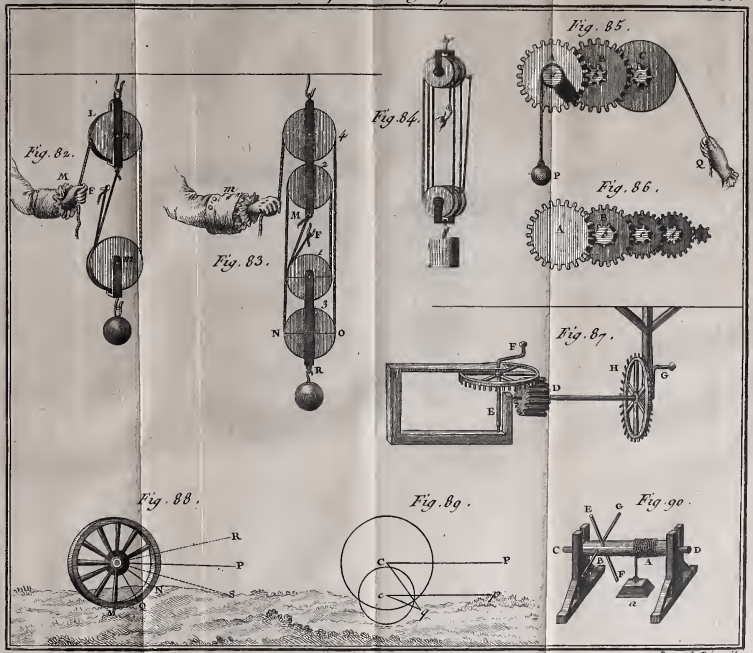


Fig. 82.
Fig. 83.
Fig. 84.
Fig. 85.
Fig. 86.
Fig. 87.
Fig. 88.
Fig. 89.
Fig. 90.
Benard Direxit.

le parti de réunir les extrémités de ces rayons par une circonférence à laquelle on adapte des chevilles, par lesquelles les hommes agissent ; comme on le voit dans la roue des carrieres (*fig.* 92.) & dans la grue (*fig.* 93). *Fig.* 92. *Fig.* 93.

527. D'après ce que nous venons de dire, il est aisé de voir que la principale partie, dans la roue des carrieres & dans la grue, n'est autre chose qu'un treuil à tambour. On voit aussi que dans la chevre (*fig.* 94.) le cylindre ED est un treuil à leviers G & F. *Fig.* 94.

528. Dans la roue des carrieres & dans la grue, les hommes agissent communément par leur poids. Mais comme ils ne peuvent pas se tenir à l'extrémité du rayon horizontal, ce qui seroit le plus avantageux, puisque la direction de leur poids, qui est verticale, y seroit perpendiculaire, & que le poids de leur corps les retient plus bas ; alors, pour avoir équilibre, il faut que *leur poids soit au fardeau qu'ils soutiennent, comme le rayon du cylindre est au sinus de l'angle que fait la direction verticale avec le rayon de la roue à l'extrémité duquel ils agissent* : dans la même raison que l'effort d'une puissance agissant obliquement à l'extrémité d'un bras de levier (483).

Du Cabeſtan.

529. Le cabeſtan eſt un véritable treuil : il n'en differe que par la poſition de ſon cylindre, qui eſt vertical, tandis que dans le treuil il eſt horizontal. La maniere dont une puiſſance agit ſur une réſiſtance, par le moyen du treuil (525), eſt entiérement applicable au cabeſtan. Mais le cabeſtan eſt beaucoup plus avantageux que le treuil ; 1°. parce que la puiſſance peut toujours agir perpendiculairement à ſon bras de levier : 2°. parce qu'on peut y appliquer un grand nombre d'hommes à la fois.

530. Le cabeſtan eſt donc une machine au moyen de laquelle on peut vaincre de très-grandes réſiſtances avec des puiſſances beaucoup moindres. Auſſi s'en ſert-on ſur les vaiſſeaux, pour lever les ancres ou autres fardeaux, auxquels ſont amarrés les cables que l'on roule ſur le cylindre. On s'en ſert encore dans les ports pour amener les vaiſſeaux à terre, quand il en eſt beſoin ; & pour faire paſſer d'un bateau ſur le port, des maſſes extrêmement lourdes, comme des blocs de marbre ou de pierre.

531. La maniere ordinaire de ſe ſervir du cabeſtan, eſt de faire faire ſur le cylindre AB (*fig.* 95) deux ou trois tours à la corde CD, qui tient *Fig.* 95.

la

la réſiſtance vers D, tandis que des hommes tirent, de toutes leurs forces, la partie C de la corde, pour empêcher qu'elle ne gliſſe : car alors le frottement de la partie de la corde qui eſt roulée autour du cylindre, eſt ſi conſidérable, que, quoique le poids de la réſiſtance ſurpaſſe de beaucoup la force des hommes qui tiennent la corde, il ne peut cependant la ſurmonter, ni faire gliſſer la partie de la corde roulée autour du cylindre. Si l'on applique enſuite des hommes aux leviers E, F, G, H; & que ces hommes faſſent tourner le cylindre, ils amenent la réſiſtance : & pendant ce temps-là, ceux qui tirent la partie C de la corde, la devident; de ſorte qu'il n'en reſte jamais ſur le cylindre plus de tours qu'on ne lui en avoit d'abord fait faire; car un côté ne peut pas ſe rouler, que l'autre ne ſe déroule.

532. Il eſt aiſé de voir que le cabeſtan agit comme un levier ſans fin du premier ou du ſecond genre à bras inégaux (477); & que le bras de la réſiſtance eſt beaucoup plus court que celui de la puiſſance. Car le bras de levier par lequel agit la réſiſtance, eſt le rayon du cylindre : & le bras de levier par lequel agit la puiſſance, eſt ce même rayon prolongé par un des leviers en croix E, F, G, H. Plus ces leviers ſeront longs, plus la puiſſance deviendra capable de vaincre une grande

réſiſtance ; mais il lui faudra plus de temps, parce qu'elle aura un plus long chemin à par-
Fig. 91. courir. Suppoſons *gk* (*fig.* 91) le diametre du cylindre, dont le centre eſt en *h* : *hg*, rayon de ce cylindre, eſt le bras de levier par lequel agit la réſiſtance G : *h*P ou *hp*, rayon prolongé, eſt le bras de levier par lequel agit la puiſſance P ou *p*. Si donc *kg* eſt à *h*P, comme 1 eſt à 10, un effort de 100 livres en P pourra tenir en équilibre une réſiſtance de 1000 livres en G.

533. Il y a ordinairement ſur les vaiſſeaux deux ſortes de cabeſtans ; ſavoir, un grand, qu'on nomme *cabeſtan double*, & un petit, qui eſt le cabeſtan ordinaire. Le cabeſtan double eſt placé ſur le premier pont, & s'éleve juſqu'à quatre ou cinq pieds au deſſus du ſecond pont. Il eſt deſtiné à produire les plus grands efforts, comme à lever l'ancre, &c. Le petit cabeſtan eſt poſé ſur le ſecond ou le troiſieme pont, entre le grand mât & le mât de miſaine ; & il ſert à hiſſer les mâts de hune & les grandes voiles.

534. Lorſque le cable auquel eſt attachée la réſiſtance, eſt trop gros pour pouvoir être roulé ſur l'arbre ou cylindre du cabeſtan, tel que celui qui ſert à lever les ancres des gros vaiſſeaux, on ſe ſert d'un cordage médiocrement gros, nommé *tournevire*, auquel on fait faire deux ou

trois tours sur l'arbre du cabestan, & dont on joint ensuite les deux bouts ensemble, de façon qu'un côté ne puisse se rouler sans que l'autre se déroule. A ce tournevire on attache, par le moyen de petites cordes, qu'on appelle *garcettes*, le gros cable qui tire l'ancre.

535. Il y a, dans l'usage du cabestan, plusieurs inconvéniens qu'on n'a encore pu corriger, malgré toutes les peines qu'on a prises, & tous les Savans qui s'en sont occupés. Si l'on se sert du tournevire, les garcettes, qui y tiennent le cable attaché, sont bientôt hors d'usage : il faut les défaire, pour les remettre plus loin, ce qui fait perdre un temps souvent précieux. Mais le plus grand inconvénient est que le cordage qui enveloppe & se dévide sur le cylindre, descend à chaque tour de tout son diametre, &, par-là, arrive jusqu'au bout du cylindre. Pour éviter qu'il ne se croise & qu'il ne s'embarrasse, il faut le rehausser; c'est ce qu'on appelle *choquer* : opération qui est d'autant plus fréquente, que le cordage est plus gros & le cylindre plus court. Mais, à chaque fois qu'on choque, il faut arrêter le mouvement de la machine; prendre des bosses sur le cordage, pour empêcher que la résistance ne l'emporte; dériver le cabestan pour mollir la partie du cordage qui est sur le cylindre; relever

le cordage ; le roidir de nouveau ; & enfin ôter les boſſes, pour remettre le cabeſtan en jeu. Tout cela demande beaucoup de temps & de travail.

J'ai cependant appris qu'on a, depuis quelque temps, conſtruit à Cherbourg un cabeſtan qui n'a pas beſoin de choquer : mais j'ignore quel eſt le mécaniſme qui l'en diſpenſe. J'avois prié un de mes confreres, qui y réſide, de me le faire connoître : je viens encore de lui écrire, pour lui rappeler ſa promeſſe ; ſi je reçois ſa réponſe avant qu'on imprime cet article, c'eſt ici que je ferai connoître ce mécaniſme ; ſi je la reçois plus tard, je le placerai en quelque autre endroit, qui ſera indiqué par la *Table des matieres* au mot *Cabeſtan*.

Du Cric.

536. Le cric eſt encore une machine, moyennant laquelle on peut, avec une petite force, vaincre une grande réſiſtance. Le cric ſimple eſt
Fig. 96. compoſé d'une barre de fer AB (*fig. 96*) garnie de dents à l'une de ſes faces, & mobile dans une chaſſe CE. Les dents de la barre AB engrenent avec celles d'un pignon DD, qu'on fait tourner ſur ſon axe, au moyen de la manivelle MN. Les dents du pignon ſoulevent la

barre, & font par conſéquent monter le poids placé ſur ſa tête A.

537. En conſidérant l'effort que chaque dent du pignon fait en D pour ſoulever la barre, comme un poids à élever, il eſt clair (512) que *la puiſſance*, appliquée à la manivelle, *eſt à ce poids, comme le rayon du pignon eſt au bras* NM *de la manivelle.* D'où l'on voit qu'en faiſant le rayon du pignon très-petit, par rapport à celui de la manivelle, on peut, avec une force médiocre, élever un poids très-conſidérable.

538. Quelquefois, pour ſoulever un plus grand poids, avec la même force appliquée à la manivelle, on ajoute au cric une vis ſans fin (559) qu'on fait tourner avec la manivelle fixée à ſon axe, & dont les filets engrenent avec les dents du pignon. Suppoſons que, dans le cric ſimple, le pignon ait 8 dents : à chaque tour de manivelle la barre ſera élevée de 8 dents. Mais ſi l'on ajoute une vis ſans fin qui ait deux filets, il faudra, pour faire faire une révolution au pignon, & pour élever la barre de 8 dents, faire faire quatre tours à la manivelle. Par-là on rendra donc quadruple le chemin parcouru par la puiſſance; & par conſéquent on quadruplera ſa force. Mais on voit que, pour le même degré d'élévation de la réſiſtance, il faudra, dans le ſecond cas,

quatre fois autant de temps que dans le premier. Cette vis sans fin produit un autre avantage, qui est de pouvoir arrêter où l'on veut, sans craindre que le poids redescende.

Du Plan incliné.

539. Le plan incliné, l'une des six machines réputées simples, est celui qui fait un angle avec un plan horizontal. Cet angle peut être infiniment petit; & alors le plan se confond avec la ligne horizontale: ou bien cet angle peut être droit; & alors le plan devient vertical. Entre ces deux extrêmes sont compris toutes les autres especes d'inclinaison.

540. Nous avons prouvé ci-dessus (234) que la durée de la chûte d'un corps par un plan incliné, est à la durée de la chûte de ce même corps par la verticale de ce plan, comme la longueur du plan est à sa hauteur. Donc un corps placé sur un plan incliné, est en partie soutenu par ce plan: donc une puissance qui agit par le moyen d'un plan incliné, peut soutenir, ou même vaincre, une résistance plus grande qu'elle. Et cette puissance n'agit jamais avec tant d'avantage que lorsque sa direction est parallele au plan.

Fig. 97. 541. Soit A C (*fig.* 97.) un plan incliné: pour soutenir le corps D sur ce plan, & l'empêcher de tomber; il n'est pas nécessaire que les poids

d, *d*, qui le retiennent par le moyen des cordes D*e d*, soient, pris ensemble, égaux au poids du corps D, si ces poids *d*, *d*, tirent dans la direction D*e* parallele au plan incliné. Mais si ces poids tiroient dans les directions DF ou DE, ils perdroient de leur avantage : on en verra la raison ci-après.

542. Il est évident que le plan incliné porte une partie du poids D, puisque des poids moindres que le sien l'empêchent de tomber. En effet, le corps *k* (*fig.* 98.) tend à tomber par la direction verticale *k h* (202); il en est empêché par le plan incliné *a c* qu'il est contraint de suivre. Son point d'appui est en *d* : on peut donc regarder le rayon *d k* comme un levier, à l'extrémité *k* duquel agissent deux puissances ; l'une, le poids du corps *k*, dans la direction *k h*, oblique au rayon *d k*; & l'autre, *k p*, perpendiculaire à ce rayon. La longueur du bras de levier de cette derniere puissance est donc le rayon entier *d k* : & la longueur du bras de levier par lequel agit le poids du corps *k*, se réduit à *d e*, sinus de l'angle que fait la direction *k h* avec le rayon *k d* (483). *Fig.* 98.

543. Mais, comme les puissances doivent être en raison inverse des longueurs des bras de levier (481), la puissance *k p* doit être au poids du corps *k*, comme *d e* est à *d k*. Mais *d e* est à *d k*,

comme *a b*, hauteur du plan, eſt à *a c*, ſa longueur. Car le triangle *dek* eſt ſemblable au triangle *a b c*, comme cela eſt aiſé à voir : il y a donc le même rapport entre *d e*, & *d k*, & *e k*, qu'entre *a b* hauteur du plan incliné, & *a c* ſa longueur, & *b c* ſa baſe : *de* repréſente donc *a b* la hauteur du plan ; & *d k* repréſente *a c* ſa longueur. D'où il ſuit que, *dans le cas où la direction de la puiſſance eſt parallele à la longueur du plan incliné, la puiſſance doit être au poids, comme la hauteur du plan eſt à ſa longueur.*

544. Mais ſi la direction de la puiſſance eſt oblique à la longueur du plan, elle ſera dans un autre rapport. Par exemple, *ſi cette direction eſt k m, parallele à la baſe du plan, la puiſſance doit être alors au poids, comme la hauteur du plan eſt à ſa baſe :* comme *d e* eſt à *e k*, ou à *d o*, parallele & égale à *e k* : laquelle ligne *do* eſt le ſinus de l'angle que fait la direction *k m* de la puiſſance avec le rayon *d k*. Pour tous les autres degrés d'obliquité, ce ſera toujours le ſinus de l'angle que fera la direction de la puiſſance avec le rayon *d k*, qui déterminera le rapport.

545. Enfin, pour déterminer ce rapport d'une maniere plus générale, on peut dire que, dans tous les cas, *le poids & la puiſſance doivent être*

entre eux, comme les ſinus des angles que font avec le rayon dk, la direction de la puiſſance & la ligne verticale (483) ; laquelle ligne eſt la direction du poids.

546. Puiſque le plan incliné porte une partie du poids (542), ce n'eſt pas la peſanteur abſolue de ce poids que doit ſoutenir la puiſſance, mais ſeulement ſa peſanteur reſpective ; c'eſt-à-dire, la portion de ſon poids qui n'eſt pas ſoutenue par le plan incliné. Voyez ci-deſſus (*236 & ſuivant.*) quel rapport il y a entre cette peſanteur reſpective & l'inclinaiſon du plan.

Du Coin.

547. Le coin, l'une des ſix machines réputées ſimples, eſt un priſme triangulaire DAC (*fig. 99*), ou, ce qui eſt la même choſe, un corps compoſé de trois plans DC*cd*, D*da*A, C*ca*A, qui terminent deux triangles DAC, *dac*. Les deux plans D*da*A, & C*ca*A, qui ſont les plus longs, & que l'on nomme ſes *côtés*, forment un angle à la ligne A*a*, qu'on appelle la *pointe* ou le *tranchant du coin* : & le plan DC*cd*, qui eſt le plus petit des trois, & qui détermine l'écartement des deux autres vers le haut, s'appelle la *baſe* ou la *tête du coin*. La ligne BA eſt ce qu'on appelle la *hauteur* ou l'*axe du coin*. *Fig. 99.*

548. L'action du coin peut se rapporter à celle du plan incliné (539). En effet, il est évident que le plan $ACca$ est incliné au plan $ADda$.

549. On se sert du coin pour fendre, soulever, ou comprimer des corps; & pour le faire agir, on emploie communément le choc d'un corps dur, & quelquefois la pression d'un poids. La résistance, qu'on veut vaincre par le moyen du coin, vient souvent de la tenacité des parties; adhérence difficile à estimer. La percussion qui fait agir le coin, est encore une force difficile à comparer à celle d'une pression : c'est pourquoi l'application de la théorie du coin à la pratique n'est pas susceptible d'une grande précision. Pour approcher davantage de cette précision, supposons des puissances dont on connoisse la force absolue, comme des poids; & voyons quels sont les rapports que prennent entre elles la puissance & la résistance, par l'interposition du coin.

550. Supposons donc les deux rouleaux m, n, (*fig.* 100.) attachés, l'un m à la corde mle, & l'autre n à la corde nid, portant chacune un poids de 10 livres p & r, & passant par-dessus les poulies f & h : supposons aussi que la base ab du coin soit égale à la moitié de sa hauteur ch. Il faudra une pression de 5 livres pour tenir ce coin en équilibre avec la somme des deux poids,

Fig. 100.

qui eſt égale à 20 livres ; & un peu plus de 5 livres pour faire enfoncer le coin de toute ſa hauteur *c h*, abſtraction faite des frottemens. Il eſt évident, par la conſtruction, que, pendant que le coin s'enfoncera de toute ſa hauteur *c h*, les deux poids *p* & *r* monteront chacun d'une quantité égale à la moitié de *il*, laquelle eſt égale à *a b*, baſe du coin. Et comme il faut, pour qu'il y ait équilibre, que la puiſſance ſoit à la réſiſtance en raiſon inverſe des vîteſſes (481), ou des eſpaces parcourus dans le même temps, il eſt clair que, *dans le cas d'équilibre, la puiſſance doit être à la réſiſtance, comme la moitié de la baſe du coin eſt à ſa hauteur.* Donc plus le coin eſt aigu, plus ſon action devient puiſſante, & plus la même force produit d'effet par ſon moyen.

551. Si le coin tend à écarter les parties d'un corps dur, & qui ont beaucoup d'adhérence entre elles, comme cela arrive le plus ſouvent, ſon avantage va toujours en augmentant à meſure qu'il s'enfonce entre ces parties. Car ſuppoſons qu'on ait fortement attaché enſemble deux tringles de bois *s q* & *t r* (*fig.* 101.) par de forts liens *p*, *u*, *x*, &c. tous égaux en force, & qui repréſentent l'adhérence des parties d'une bûche, par exemple ; le coin étant placé entre les deux tringles, agit en quelque façon par les bras *s p*, *Fig.* 101.

tp, de deux leviers angulaires spq, tpr, tandis que les deux autres bras pq, pr, retenus par les liens, s'appuient mutuellement l'un contre l'autre. Si la force du coin excede un peu celle du premier lien p, ce lien ſera rompu. Le ſecond lien u, quoiqu'auſſi fort que le premier, ſera rompu plus aiſément par l'action du même coin, parce qu'alors les bras des leviers par leſquels il agit, ſont alongés de la quantité pu; & ainſi des autres. C'eſt ſans doute pour cela que les bois durs & ſecs, les pierres, le verre, & en général toutes les matieres dont les parties ſont fort roides, ſe caſſent par éclats, & ſe fendent fort aiſément dès qu'on a commencé à les entamer.

552. On a rapporté au coin tous les inſtrumens à tranchans & à pointes, comme couteaux, haches, épées, poinçons, &c. En effet, tous ces inſtrumens ont au moins deux plans inclinés l'un à l'autre, quelquefois quatre ou même plus, qui forment entre eux un angle plus ou moins aigu. Ainſi les clous, les aiguilles, les épingles, &c. font l'office de coin, & doivent être conſidérés comme tels.

De la Vis.

553. La vis, l'une des ſix machines réputées ſimples, eſt un cône fort alongé ou un cylindre

Fig. 91.

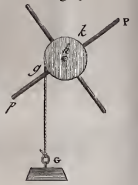


Fig. 92.

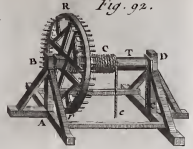


Fig. 95.

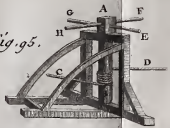


Fig. 96.

Fig. 94.

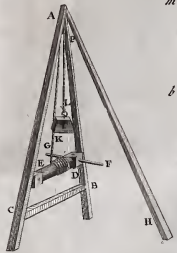


Fig. 98.

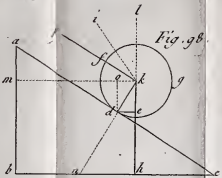


Fig. 99.

Fig. 93.

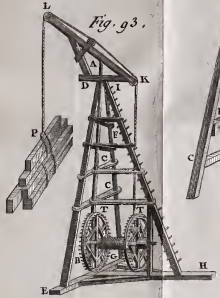


Fig. 97.

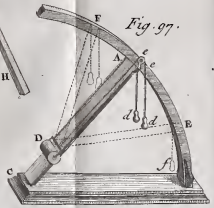
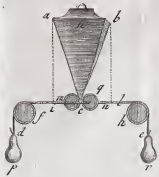


Fig. 100.



Benard Direxit.

AB (*fig.* 102.), sur la circonférence duquel on a creusé une gorge en spirale CFG. On peut représenter sa génération par le mouvement uniforme d'une ligne droite FG (*fig.* 103.), qui trace la surface d'un cylindre KH, dans le même temps qu'un point F descend avec une vîtesse uniforme de F en I & de I en G. Il est clair qu'à la fin de trois révolutions & un quart, ce point auroit parcouru la ligne spirale FLMHKNOP. La cloison CF (*fig.* 102.) qui demeure entre les tours de la gorge de la vis, s'appelle *filet de la vis*; & la distance CG qu'il y a d'un filet à l'autre, s'appelle le *pas de la vis*. *Fig.* 102. *Fig.* 103. *Fig.* 102.

554. On pratique de même le filet & la gorge dans une cavité cylindrique, pratiquée dans un morceau de métal ou de bois CD (*fig.* 104.), pour en faire une vis intérieure, qui prend ordinairement le nom d'*écrou*. On l'appelle aussi quelquefois *vis femelle*, tandis qu'on nomme la vis AB, *vis mâle*. *Fig.* 104.

555. Il est aisé de voir que le filet d'une vis est un plan incliné à la base du cylindre AB (*fig.* 102.); & que ce plan y est d'autant plus incliné, que les pas CG sont moins grands. La hauteur de ce plan est le pas de la vis, ou, ce qui est la même chose, la distance d'un filet à l'autre: sa base est la circonférence de la vis: & sa longueur est donnée par cette circonférence & la hauteur du pas; car *Fig.* 102.

si l'on développe un de ces filets ab, il formera, avec son pas bc, & sa base ou la circonférence $a.c$ de la vis, un triangle abc, rectangle en c, dont il est aisé de connoître le côté ab, puisqu'on connoît les deux autres, ainsi que l'angle en c. Lors donc qu'une vis tourne dans son écrou, ce sont deux plans inclinés, dont l'un glisse sur l'autre.

556. Selon la matiere dont on fait les vis, ou celle dans laquelle elles doivent entrer, & suivant les efforts qu'elles ont à soutenir, on donne différentes formes à leurs filets. Aux vis de bois, on fait des filets C, G, F, angulaires, pour leur conserver de la force; car, par cette figure, ils ont une base plus large sur le cylindre qui les porte. On donne aussi la même forme aux filets des vis en bois, c'est-à-dire, de ces petites vis de fer, qui sont des cônes fort alongés, qui finissent presque en pointe, & qui doivent creuser elles-mêmes leur écrou dans le bois. On doit les considérer, de même que les meches des vrilles & des tarieres, comme des coins tournans, dont l'angle ouvre le bois d'autant plus aisément, qu'il est plus aigu. Mais aux grosses vis de métal (*fig.* 105.), qui servent aux presses & aux étaux, on fait des filets quarrés f, f, afin qu'elles éprouvent plus de frottemens par l'augmentation de la surface de chaque filet; car c'est souvent des

Fig. 105.

frottemens que vient le principal effet des vis : ils empêchent les mâchoires d'un étau de s'écarter, quoiqu'elles y tendent par la réaction de la piece qu'elles ſerrent entre elles.

557. On ſe ſert principalement des vis pour ſerrer fortement des corps les uns contre les autres, & quelquefois auſſi pour élever des poids ou des fardeaux, ou pour faire avancer ou reculer certaines pieces d'une quantité déterminée. Pour cela on fait uſage de la vis & de l'écrou, dont l'un ou l'autre ſert de point d'appui. Quelquefois la vis eſt mobile & l'écrou eſt fixe ; d'autres fois c'eſt la vis qui eſt fixe, tandis que l'écrou eſt mobile ; mais, dans l'un & l'autre cas, l'effet de la vis eſt le même.

558. Quand on veut faire uſage de cette machine, on attache donc ou l'on applique l'une des deux pieces (la vis ou l'écrou) à la réſiſtance à vaincre, & l'autre lui ſert comme de point d'appui. Alors, en tournant, on fait mouvoir l'écrou ſur la vis, ou la vis dans l'écrou, ſelon ſa longueur ; & ce qui réſiſte à ce mouvement avance ou recule d'autant. Aux étaux des Serruriers, par exemple, une des deux mâchoires eſt pouſſée, par l'action d'une vis, contre l'autre, à laquelle eſt fixé un écrou. Il faut, comme l'on voit, que la puiſſance faſſe un tour entier, pour faire avancer la réſiſtance d'un pas de vis, c'eſt-à-dire, d'une

quantité égale à la distance d'un filet à l'autre. Si la puissance est appliquée immédiatement à la vis, l'espace qu'elle parcourt, ou son degré de vîtesse est *a c* (*fig.* 102.), qui est la mesure de la circonférence de la vis (555); & le degré de vîtesse de la résistance est *c b*, mesure du pas de la vis. Mais, comme on fait ordinairement tourner les vis, & sur-tout celles qui sont grosses, avec des leviers ou quelque chose d'équivalent, la force motrice fait beaucoup plus de chemin que si elle étoit immédiatement appliquée à la vis : ce n'est plus *a c* qui exprime sa vîtesse; c'est la circonférence du cercle, dont le levier DE est le rayon. Et, comme, pour qu'il y ait équilibre, il faut que les puissances soient entre elles en raison inverse de leurs vîtesses, on peut établir, en général, que dans l'usage des vis, si l'on fait abstraction des frottemens, *la puissance est à la résistance, en cas d'équilibre, comme la hauteur du pas est à la circonférence que décrit la puissance.* D'où il suit que la même résistance sera vaincue par une puissance d'autant plus petite, que le pas de la vis sera lui-même plus petit, ou que cette puissance agira par un levier plus long. Mais, dans ce dernier cas, elle fera plus de chemin : elle perdra donc en temps ce qu'elle gagnera en force, comme cela ne manque jamais d'arriver.

Fig. 102.

De

De la Vis sans fin.

559. La vis sans fin differe beaucoup des vis dont nous venons de parler (553 *& suivans*). Ces dernieres se meuvent dans un écrou, & cessent de tourner quand elles ont avancé de toute leur longueur. Au lieu que la vis sans fin est un cylindre qui tourne toujours du même sens, ses deux extrémités A & B (*fig.* 106.) étant portées sur des pivots solides; de sorte que son action est continue: c'est ce qui lui a fait donner son nom. Les filets *z*, *h* de cette vis, qui sont le plus souvent quarrés, engrenent avec les dents d'une roue verticale C*h*, qui porte, sur son axe, un rouleau T, avec une corde à laquelle on attache le fardeau P qu'on veut élever. Une très-petite force, appliquée à la manivelle ME, peut enlever un fardeau P très-considérable; mais il faut beaucoup de temps, comme on va le voir. *Fig.* 106.

560. Cherchons donc le rapport du poids P, à la puissance Q. Il est évident que le poids P est contre-balancé immédiatement par la résistance que le filet *h* de la vis oppose à la dent de la roue, suivant la direction *hg*, perpendiculaire au rayon C*h*. Ce filet *h* agit donc par le rayon C*h* de la roue, tandis que le poids P agit par le rayon C*d* du rouleau. Ainsi, pour avoir équilibre, il faut

que la force en *h* soit au poids P, comme C*d*, rayon du rouleau, est à C*h*, rayon de la roue (478 *& suiv.*).

561. Mais de même que le filet de la vis pousse la dent de la roue suivant la direction *hg*, de même aussi ce filet est repoussé à son tour suivant la direction contraire *hi*, & avec la même force, par la réaction de la dent de la roue, que le poids P tend à faire tourner dans ce sens-là. Si cette derniere force l'emportoit, elle feroit faire un tour au rayon ME de la manivelle, pendant que la roue reculeroit d'une dent. Il faut donc, pour avoir équilibre, que la puissance Q soit à la réaction de la dent de la roue, comme le pas $\frac{1}{7}h$ de la vis est à la circonférence que décrit le rayon ME, par lequel agit la puissance Q.

562. On peut donc exprimer ainsi le rapport que le poids P doit avoir en cas d'équilibre, avec la puissance Q. *Le poids est à la puissance, comme le produit du rayon de la roue, multiplié par la circonférence que décrit le rayon de la manivelle, est au produit du rayon du rouleau multiplié par la hauteur du pas de la vis.*

563. On pourroit encore exprimer autrement ce rapport. Nous venons de dire (561) que la puissance Q fait faire un tour à la manivelle ME, pour faire avancer une dent de la roue. Pour

faire faire un tour entier à cette roue, & par conséquent pour élever le poids P d'une quantité égale à la circonférence du rouleau, il faudroit donc faire faire à la manivelle autant de tours que la roue a de dents. Et comme les puissances doivent être en raison réciproque des vîtesses ou des espaces parcourus, on peut dire : *Le poids est à la puissance, comme la somme des circonférences décrites par l'extrémité du rayon de la manivelle, est à la circonférence du rouleau.*

564. Il suit de là que le mouvement de la roue étant excessivement lent, en comparaison de celui de la manivelle, il n'est besoin que d'une très-petite puissance pour soulever un poids considérable, par le moyen de la vis sans fin. Par exemple, supposons, comme dans la *fig.* 106, une roue C*h* qui ait 19 dents ; & une vis qui n'ait qu'un filet, & qui, à chaque tour, ne fasse passer qu'une dent de la roue ; que la circonférence du rouleau T soit d'un pied ; & que celle que décrit le rayon E M de la manivelle, soit de 5 pieds. Quand la roue C*h* aura fait un tour entier, le poids P sera monté de 1 pied ; & l'espace parcouru par la puissance Q, sera de 19 fois 5 pieds, ou de 95 pieds. La vîtesse de la puissance Q sera donc à la vîtesse du poids P, comme 95 est à 1. Par conséquent cette puis- *Fig.* 106.

ſance, avec un effort d'une livre, en ſoutiendroit 95 ; & ſi ſon effort égaloit 30 livres, elle en ſoutiendroit 2850.

565. Si la roue C*h* avoit une fois plus de dents qu'elle n'en a, ou que le rayon EM de la manivelle fût une fois plus long, la même puiſſance Q produiroit un effet double ; c'eſt-à-dire qu'elle ſoutiendroit 5700 livres.

566. Mais ſi, ſans changer le nombre des dents de la roue C*h*, ou la longueur du rayon EM de la manivelle, on plaçoit ſur l'axe de la roue, au lieu du rouleau T, une autre vis ſans fin, dont le filet engrenât avec les dents d'une ſeconde roue de même nombre que la premiere, & garnie du rouleau T, qui ſoutînt le poids P, la même puiſſance Q ſeroit capable de ſoutenir un poids 19 fois auſſi grand ; c'eſt-à-dire que cette puiſſance, ne valant intrinſéquement que 30 livres, en pourroit ſoutenir 5415o.

De la Vis d'Archimede.

567. Cette machine, inventée par *Archimede*, eſt très-propre à l'élévation des eaux. C'eſt un cylindre CD (*fig.* 107.) qui tourne ſur deux pivots, & autour duquel on a roulé en ſpirale un canal creux C*adegfi*. On incline ce cylindre à l'horizon ſous un angle d'environ 45 degrés,

& l'on fait plonger dans l'eau l'orifice C du canal. Ce canal, qui dans la figure eſt ouvert dans toute ſa longueur, doit être fermé de toutes parts, excepté à ſes deux extrémités. Si, par le moyen d'une manivelle M, ou autrement, on fait tourner la vis, l'eau gliſſe dans le canal ſpiral, ſe porte de ſpire en ſpire, & va ſe décharger par l'autre extrémité *i* du canal creux.

568. Cette machine eſt très-ſimple, & ſon invention eſt très-heureuſe; l'eau y monte, non pas en deſcendant, comme quelques-uns l'ont dit, mais par la même force qui tend à la faire deſcendre, en un mot par ſa peſanteur. En effet, la particule d'eau qui eſt dans la partie inférieure de la vis, en *d*, par exemple, ne peut pas demeurer au point *d*, lorſqu'en tournant la vis, ce point *d* paſſe en *a*, lieu plus élevé que n'étoit le point *d* avant qu'on tournât la vis; parce que la peſanteur de cette particule l'oblige de ſe porter au point qui a ſuccédé au point *d* à la partie inférieure de la vis; lequel point eſt plus bas que n'eſt actuellement le point *a*, mais en même temps plus élevé que n'étoit le premier point *d* avant qu'il paſsât en *a*: de ſorte que cette particule d'eau, tendant toujours à ſe tenir au lieu le plus bas, ſe trouve, à chaque inſtant, dans des points de plus en plus élevés; & elle y eſt réellement portée par

ſa peſanteur. Ce que nous diſons de cette particule d'eau, on peut le dire de toutes les autres. Il faut donc que, pour qu'une ſubſtance puiſſe monter dans la vis d'*Archimede*, elle ſoit fluide & peſante.

569. Cette vis eſt fort propre à élever une grande quantité d'eau avec une très-petite force : c'eſt pourquoi elle peut être très-utile pour vider des lacs & des étangs. Mais elle ne peut pas porter l'eau à une grande hauteur, parce que cette vis étant néceſſairement inclinée, ne peut élever l'eau fort haut, ſans devenir elle-même fort longue, & par-là très-peſante, & ſans courir les riſques de ſe courber & de perdre ſon équilibre : ce qui exigeroit alors une très-grande force pour la mettre en jeu.

Des réſiſtances qu'éprouvent les Machines lorſqu'elles ſont prêtes à ſe mouvoir.

570. Si les matieres dont les machines ſont compoſées, étoient parfaitement dures & parfaitement polies, & ſi les cordes qu'on eſt ſouvent obligé d'employer, pour tranſmettre l'action de la force motrice d'une partie de la machine à l'autre, avoient une parfaite flexibilité ; la théorie de l'équilibre que nous venons d'établir, ſuffiroit pour déterminer, dans chaque cas, la force requiſe pour contre-balancer

une réſiſtance donnée : & cette force une fois trouvée, on ſeroit aſſuré qu'en l'augmentant de la plus petite quantité, l'équilibre ſe romproit, & la réſiſtance ſeroit vaincue. Mais dans l'état phyſique & naturel des machines, il s'en faut de beaucoup que les choſes ne ſoient ainſi. Il peut ſe faire qu'on augmente, même d'une quantité aſſez grande, cette puiſſance déterminée par la théorie, ſans que pour cela il réſulte aucun mouvement dans la machine. Le frottement des ſurfaces les unes contre les autres, & la réſiſtance que font les cordes, lorſqu'il s'agit de les faire plier autour des poulies ou cylindres qu'elles embraſſent, s'oppoſent au mouvement de la machine. La valeur de ces réſiſtances eſt très-difficile à eſtimer : on ne doit donc pas ſe promettre une théorie rigoureuſe ſur cette matiere, qui eſt mêlée d'un ſi grand nombre d'accidens & de difficultés phyſiques, qu'on ne parviendra peut-être jamais à l'éclaircir complétement.

571. Nous avons déjà parlé aſſez au long (*96 & ſuiv.*) de la réſiſtance qui réſulte des frottemens : nous croyons devoir y renvoyer le Lecteur. Nous allons nous occuper maintenant de la réſiſtance qui vient de la roideur des cordes.

De la Roideur des cordes.

572. Les cordes sont des corps longs & plus ou moins flexibles, composés de plusieurs fils, de matiere, soit végétale, soit animale, soit minérale, appliqués les uns contre les autres, & réunis par le tortillement. On fait donc des cordes de matieres végétales, telles que le chanvre & l'écorce d'arbre : celles de chanvre sont les plus communes, les plus en usage, & préférables à celles d'écorce d'arbre ; car elles ont plus de force. On en fait de matieres animales, telles que la soie, les boyaux, & les nerfs. On en fait aussi quelquefois de matieres minérales, telles que le fil de fer & le fil de laiton.

573. La difficulté que fait éprouver la roideur des cordes, lorsqu'il s'agit de les faire plier sur les poulies ou les cylindres, est très-considérable & très-difficile à évaluer, comme nous l'avons dit ci-dessus (570). Les principes que nous allons établir ne sont donc pas rigoureusement vrais ; mais du moins ils sont assez conformes à ce que l'expérience nous a appris là-dessus. C'est M. *Amontons* qui a le premier traité méthodiquement cette matiere. (Voyez les *Mém. de l'Acad. Royale des Sc. année 1699, page 217.*) Il rapporte les expériences qu'il a faites pour s'assurer

des proportions dans lesquelles ces résistances augmentent. De ces expériences il suit que la roideur des cordes dépend principalement de trois choses : 1°. de la force qui tient les cordes tendues ; 2°. de la grosseur des cordes ; 3°. de la quantité dont on les fait plier, ou, ce qui est la même chose, du diamètre des poulies ou cylindres sur lesquels on les fait plier.

574. Supposons deux cordes AC, BD, (*fig.* 108.) attachées chacune à un point fixe A & B ; qu'on leur fasse faire à chacune un tour sur le cylindre EE. Si elles n'avoient point de roideur, & qu'elles fussent parfaitement flexibles, le poids seul du cylindre suffiroit pour le faire tomber : au lieu de cela, il faut, pour qu'il descende, y ajouter un poids d'autant plus considérable, que les cordes sont tendues par une plus grande force. Pour s'en assurer, que l'on attache au cylindre EE un bassin de balance G, avec un cordon roulé dans le sens contraire à celui dans lequel sont roulées les cordes AC, BD, & que l'on tende ces cordes avec des poids placés sur le plateau CD. On verra, 1°. que, pour faire descendre le cylindre, & par conséquent pour vaincre la roideur des cordes, il faudra ajouter, dans le bassin G, un poids d'autant plus considérable, que le poids placé sur le plateau CD, & qui tend les *Fig.* 108.

cordes, ſera plus grand. Si le poids qui tend les cordes eſt, 1°. de 100 livres ; 2°. de 200 livres, il faudra, dans le baſſin G, dans le ſecond cas, un poids double de celui qu'il aura fallu dans le premier. D'où il ſuit que la *réſiſtance de la roideur des cordes, qui réſulte des forces qui tendent ces cordes, croît en raiſon directe de ces forces.*

575. On verra, 2°. qu'avec le même cylindre & le même degré de tenſion des cordes, il faudra ajouter, dans le baſſin G, un poids d'autant plus conſidérable, que le diametre des cordes ſera plus grand. Si ce diametre eſt, 1°. de 10 lignes, 2°. de 20 lignes ; il faudra, dans le baſſin G, dans le ſecond cas, un poids double de celui qu'il aura fallu dans le premier. D'où il ſuit que *la réſiſtance de la roideur des cordes, qui réſulte de leur groſſeur, croît ſeulement comme le diametre des cordes, & non pas comme leur ſolidité.*

576. On verra, 3°. qu'en éprouvant toujours les mêmes cordes, tendues par les mêmes forces, & conſervant toujours le même diametre au cylindre ſur lequel s'enveloppe le cordon qui porte le baſſin G, il faudra ajouter, dans ce baſſin, un poids d'autant plus conſidérable, que le diametre du cylindre, ſur lequel s'enveloppent les cordes, ſera plus petit ; mais non pas toujours ſuivant la proportion de la diminution de ce diametre. Car

la *réſiſtance de la roideur des cordes* (qui augmente certainement à meſure que les cylindres deviennent plus petits) *n'augmente pourtant pas toujours autant que décroiſſent les diametres des cylindres ſur leſquels elles s'enveloppent.*

577. Pour rendre raiſon de ces faits, ſuppoſons la corde *ihfe*L (*fig.* 109.), attachée au point fixe *i*, & roulée ſur le cylindre *e*. On peut conſidérer le diametre *fe* du cylindre & le diametre *eh* de la corde, comme formant enſemble un levier à bras inégaux, dont le point d'appui eſt en *e*, point où la corde touche le cylindre. Le poids du baſſin G agit donc par le bras de levier *fe*, tandis que le poids attaché à l'extrémité L de la corde, & qui la tend, agit par le bras de levier *eh*, ou par le diametre de la corde. Il eſt aiſé de voir maintenant qu'un poids double, agiſſant par ce bras de levier, doit y produire un effet double. C'eſt de là que réſulte le premier principe (574). *Fig.* 109.

578. En ſuppoſant toujours la même figure, on voit pourquoi, à meſure que *eh*, ou, ce qui eſt la même choſe, le diametre de la corde augmente, la force du poids L augmente en même proportion : car ce poids agit alors par un bras de levier plus long ; ce qui lui donne plus de force pour augmenter la roideur de la corde. C'eſt de là que réſulte le ſecond principe (575). On voit que ce n'eſt que le diametre de la corde, & non pas

sa solidité, qui influe sur cet effet; cela vient de ce que cette résistance, causée par le diametre de la corde, ne provient que de ce que ce diametre éloigne ou approche l'action du poids L du point d'appui *e*; & non pas de ce que la corde contient plus ou moins de matiere : car, si cela étoit, cette résistance augmenteroit ou diminueroit suivant les quarrés des diametres des cordes.

579. Pour rendre raison du troisieme principe (576), savoir pourquoi la résistance de la roideur des cordes augmente à mesure que les cylindres, sur lesquels elles s'enveloppent, deviennent plus petits; supposons une corde tendue A B D C (*fig.* 110.) : si l'on veut la faire plier sur le cylindre K, on est obligé de faire écarter ses parties dans la moitié de son épaisseur A B E F, pour lui faire prendre la situation *a g d e h f*; & de resserrer au contraire ses parties dans l'autre moitié de son épaisseur *e h f c i b* : or cet écartement d'une part, & ce resserrement de l'autre, font une résistance réelle à la puissance qui tend à plier la corde; & cette résistance est d'autant plus grande, 1°. que la force qui tend la corde est plus considérable; car alors elle est plus roide; 2°. que la corde est plus grosse; puisqu'il y a plus de parties à écarter d'une part, & à resserrer de l'autre; 3°. que le diametre du cylindre sur lequel on fait plier la corde, est plus petit, la corde demeurant la même; puisqu'il

faut écarter davantage d'une part, & resserrer de l'autre, la même quantité de parties. Il faut donc moins de force pour faire plier la même corde sur le cylindre K, que sur le cylindre *k*. Mais l'expérience prouve que cette résistance n'augmente pas toujours autant que les diametres des cylindres décroissent.

580. De tout ceci il suit qu'en général *la résistance qui vient de la roideur des cordes est en raison composée de la raison directe des forces qui tendent les cordes, de la raison directe des diametres des cordes, &, à peu près, de la raison inverse des diametres des cylindres.*

581. Il suit de là que la résistance qui vient de la roideur des cordes dans une machine, étant estimée en poids, tel que celui qui est nécessaire pour contre-balancer cette résistance, devient comme un nouveau fardeau qu'il faut ajouter à celui que la machine doit élever; & comme cette augmentation de poids augmentera encore la roideur des cordes, il faudra de nouveau calculer cette augmentation de résistance, & ajouter le poids nécessaire pour la contre-balancer; & ainsi de suite, jusqu'à ce que cette résistance, provenant de l'augmentation qu'on fait à chaque fois à la puissance, soit si petite, qu'on ne doive plus y avoir égard. Ainsi on aura plusieurs sommes décroissantes, qu'il faudra ajouter ensemble, & qui peuvent se monter très-haut.

582. Il suit de tout ce que nous venons de dire sur la résistance qui provient de la roideur des cordes, qu'on doit préférer, autant que faire se peut, les grandes poulies aux petites; non seulement parce qu'ayant moins de tours à faire, leur axe éprouve moins de frottement, mais encore parce que les cordes qui les entourent y souffrent une moindre courbure (579), & font par conséquent une moindre résistance. Cette considération est d'une si grande conséquence dans la pratique, qu'en évaluant la roideur de la corde, selon la regle de M. *Amontons* (*Mém. de l'Acad. des Sc. année 1699, page 225*), on voit clairement que si l'on vouloit enlever un fardeau de 800 livres avec une corde de 20 lignes de diametre, & une poulie qui n'eût que 3 pouces, il faudroit augmenter la puissance de 212 livres, seulement pour vaincre la roideur de la corde, sans compter plus de 224 livres pour vaincre le frottement de l'axe de la poulie; au lieu qu'avec une poulie de deux pieds de diametre, 22 livres suffiroient pour vaincre la roideur de la corde, & 23 livres pour vaincre le frottement.

583. Comme les cordes qu'on emploie dans les grandes machines & sur les vaisseaux, sont d'un prix considérable, & qu'elles doivent soutenir de très-grands efforts, on doit chercher à les rendre durables, & à leur donner le plus de force qu'il

eſt poſſible. Si les fibres qui compoſent les cordes étoient aſſez longues par elles-mêmes, on ſe ſeroit ſans doute contenté de les mettre enſemble, & de les lier en forme de faiſceaux ſous une enveloppe commune. Cette maniere de compoſer les cordes eût peut-être paru la plus ſimple & la plus propre à leur conſerver la flexibilité qui leur ſeroit ſi néceſſaire : mais comme ces fibres n'ont qu'une longueur fort limitée, on a trouvé le moyen de les prolonger en les filant, c'eſt-à-dire, en les tortillant enſemble. Le frottement qui naît de cette ſorte d'union, eſt ſi conſidérable, qu'elles ſe caſſent plutôt que de gliſſer l'une ſur l'autre. C'eſt ainſi que ſe forment les premiers fils dont l'aſſemblage fait un cordon ; & de pluſieurs de ces cordons réunis & tortillés enſemble, on compoſe les plus groſſes cordes. On juge aiſément que la quantité de matiere contribue beaucoup à la force des cordes : on conçoit bien auſſi qu'un plus grand nombre de cordons également gros, doit faire une corde plus difficile à rompre : mais quelle eſt la maniere la plus avantageuſe d'unir les fils ou les cordons ? Eſt-il plus avantageux de tordre beaucoup les cordes, ou de les tordre peu ? Le tortillement augmente-t-il leur force ou la diminue-t-il ? M. *de Réaumur* (*Mém. de l'Acad. des Sc. année* 1711, *page* 6) a fait une longue ſuite d'expériences pour chercher à réſoudre cette queſ-

tion. Après avoir éprouvé la force de plusieurs brins de fil, il a fait plusieurs petites cordes, composées de différens nombres de ces brins, tortillés ensemble. Jamais ces cordes n'ont porté la somme des poids que les brins, dont elles étoient composées, portoient séparément. D'où l'on a conclu, avec raison, que le tortillement diminue la force des cordes.

584. Il est aisé d'en sentir la raison. En tortillant ensemble plusieurs cordons pour former une corde, les uns sont inévitablement plus fortement tendus que les autres : lorsque la corde est appliquée à quelque effort, cet effort est inégalement partagé entre eux : celui de tous qui est le plus tiré, casse le premier ; & si tous sont nécessaires pour l'effort à vaincre, la corde devient par-là trop foible. Ce raisonnement est conforme à ce qui arrive journellement : jamais une grosse corde ne casse toute entiere d'un seul coup ; on entend casser ses cordons les uns après les autres.

Fig. 111. En effet, supposons que le cordon A B (*fig.* 111.) puisse porter 10 livres, & rien au delà : si, avec deux cordons parfaitement semblables, on forme, en les tortillant, une corde G, elle ne soutiendra pas, sans se casser, les deux poids E, F, de chacun 10 livres. La même chose arriveroit, si, au lieu de réunir les deux cordons, on les attachoit séparément à deux points fixes C, D, & qu'on leur suspendît

ſuſpendît enſuite un poids de 20 livres H, mais de façon que l'un C fût attaché vers un des bouts du poids, & l'autre D vers la moitié ou le tiers de ſa longueur. Ce dernier, étant par cette diſpoſition chargé de plus de 10 livres, caſſeroit infailliblement; après quoi l'autre, ſe trouvant ſeul chargé des 20 livres, ſe romproit de même. On peut ajouter qu'en tortillant les cordons, pour en former une corde, on les tend néceſſairement un peu; & cette tenſion tient lieu d'une partie de l'effort qu'ils peuvent ſoutenir. On voit donc bien maintenant pourquoi le tortillement affoiblit les cordes: d'où il ſuit qu'on les affoiblit d'autant plus qu'on les tord davantage. En effet, je penſe qu'on devroit tordre les cordes moins qu'on ne le fait; elles en ſeroient moins roides, & elles ne ſe caſſeroient pas ſi aiſément. Elles acquerroient par-là deux qualités bien précieuſes: elles ſeroient plus durables, & plus faciles à faire plier ſur les poulies & les cylindres.

585. Comme les cordes, que l'humidité pénetre, ſe renflent & ſe raccourciſſent néceſſairement, peu ou beaucoup, quelles que ſoient les forces qui s'y oppoſent; on pourroit les employer utilement pour ſoulever, d'une petite quantité, un corps très-lourd, ſous lequel on voudroit introduire quelque autre corps. Pour cela, il faut attacher ce corps lourd, par le moyen d'une corde aſſez forte &

d'une certaine longueur, à un point bien fixe & capable de réſiſter au poids de ce corps. On tendra la corde le plus qu'on pourra ; enſuite on la mouillera. L'humidité, en la pénétrant, la gonflera & la raccourcira au point de ſoulever le corps, quel que ſoit ſon poids.

586. Les particules humides pénetrent les corps avec une très-grande force, dont on ne connoît pas bien la cauſe. On conçoit que ces particules, en pénétrant, comme autant de petits coins, entre les fibres de la corde, les écartent & leur font faire ventre ; ce qui gonfle & raccourcit néceſſairement l'aſſemblage.

FIN DU TOME PREMIER.

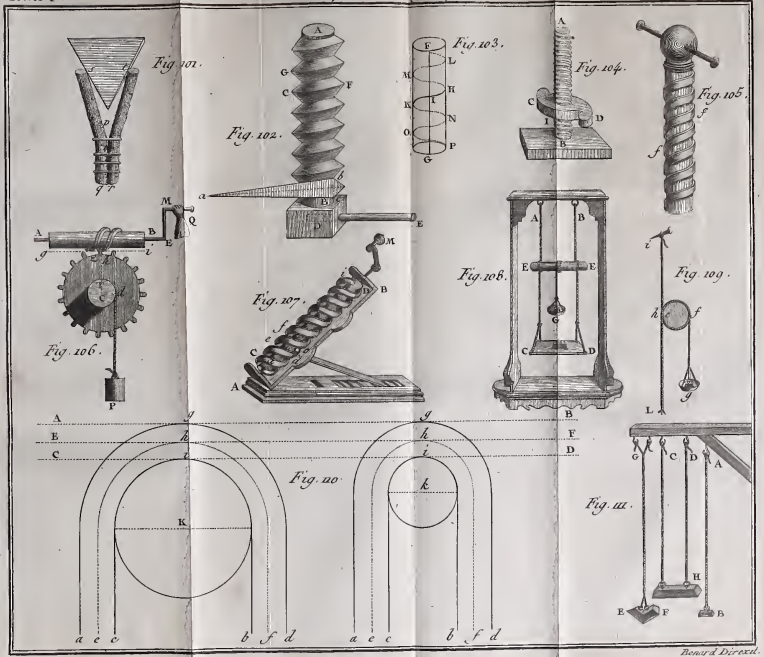


Fig. 101.
Fig. 102.
Fig. 103.
Fig. 104.
Fig. 105.
Fig. 106.
Fig. 107.
Fig. 108.
Fig. 109.
Fig. 110.
Fig. 111.
Benard Direxit.